

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky**

**Rozvod nízkého napětí od trafostanice
k odběratelům**

**Distribution of low voltage from
transformer station to customers**

Zadání bakalářské práce

Student:

Jiří Kunyt

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907R001 Elektroenergetika

Téma:

Rozvod nízkého napětí od trafostanice k odběratelům
Distribution of low voltage from transformer station to customers

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor elektrických sítí NN z hlediska jejich struktury a provozu
2. Parametry kvality napětí v síti
3. Měření základních provozních charakteristik vybraného vedení NN
4. Vyhodnocení kvality napětí v dané části sítě

Seznam doporučené odborné literatury:

- Toman, P. a kol.: Provoz distribučních soustav. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. 265 s. ISBN 978-80-01-04935-8.
- Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. Ostrava: Montanex a.s., 2008. 364 s. ISBN 978-80-7225-291-6.2008.
- Santarius, P.: Elektrické stanice a vedení I. Ostrava: 1990, 215 s. ISBN 80-7078-032-0.
- Tlustý, J. a kol.: Návrh a rozvoj elektroenergetických sítí. Praha: ČVUT, 2011, ISBN 978-80-01-04939-6.
- Vyhláška č. 41/2010 Sb.: Vyhláška o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice. Praha, 2010, ISSN 1211-1244.
- Příslušné technické normy - např. ČSN EN 50160 ed. 3 - Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Moldřík, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019

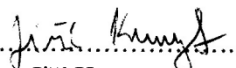



prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry


prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne: 24. 4. 2019

.....
Jiří Kuny

Poděkování:

Tímto chci poděkovat svému vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Petrovi Moldříkovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady a také mé rodině za podporu při vypracování této práce.

Abstrakt:

Tato bakalářská práce se zabývá základními postupy montáže vedení nízkého napětí a dále parametry, které ovlivňují kvalitu napětí v síti. Teoretická část je rozdělena na dvě hlavní kapitoly. V první části je vysvětleno základní uspořádání elektrického rozvodu jak z hlediska struktury, tak i provozu, přičemž se vychází především z platných podnikových a českých státních norem. Druhá část práce je zaměřena na parametry, které ovlivňují kvalitu napětí v síti včetně přípustných mezí dle evropské normy ČSN EN 50160. Získané teoretické poznatky jsou poté aplikovány v praktické části práce na konkrétní vedení v místě mého bydliště.

Klíčová slova:

Elektrické vedení, trafostanice, vodiče, podpěrné body, jištění, přípojka, kvalita napětí, flickr

Abstract:

This bachelor thesis deals with basic methods of low voltage power line installation and parameters that influence the voltage quality in an electrical network. The theoretical part is divided into two main chapters. The first part explains the basic layout of electrical power lines with a description of structure and operation by using mainly applicable corporate and Czech national standards. The second part of the thesis is focused on parameters that influence the voltage quality in an electrical network including the permissible limits according to the European standard ČSN EN 50160. The acquired theoretical knowledge is then applied in the practical part of the work to the specific electrical wiring in my place of residence.

Key words:

Electrical wiring, transformer station, conductors, support points, protection, electrical connection, voltage quality, flicker

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratek	7
Seznam ilustrací a seznam tabulek	9
Úvod	11
1. Struktura venkovního rozvodu NN	12
1.1. Druhy rozvodů NN	12
1.1.1. Paprskové sítě	12
1.1.2. Okružní (smyčkové) sítě	13
1.1.3. Mřížové sítě	13
1.2. Klimatické vlivy	14
1.2.1. Vítr	14
1.2.2. Námraza	14
1.2.3. Teplota	14
1.3. Vodiče	14
1.3.1. Vzdálenosti vodičů	16
1.4. Podpěrné body – sloupy, izolátory	16
1.4.1. Dřevěné sloupy	17
1.4.2. Betonové sloupy	18
1.4.3. Ocelové plechové sloupy	18
1.4.4. Střešníky a konzoly	18
1.4.5. Izolátory	19
1.5. Elektrické stanice	19
1.5.1. Dělení elektrických stanic	19
1.5.2. Rozvodná zařízení NN	20
1.6. Jištění	20
1.6.1. Jistící přístroje	20
1.7. Uzemnění	22
1.8. Podmínky připojování odběratelů	23
1.8.1. Technologická montáž přípojky ze závěsného kabelu	23
1.8.2. Typové diagramy dodávky elektřiny	24
2. Kvalita napětí	25
2.1. Kmitočet sítě	25
2.2. Napájecí napětí	25

2.3. Rychlé změny napětí a flikr	26
2.4. Nesymetrie napájecího napětí.....	26
2.5. Harmonická napětí	27
2.6. Meziharmonická napětí	28
2.7. Úrovně napětí signálů	28
2.8. Přerušení napájecího napětí	29
2.9. Poklesy, dočasná zvýšení napětí (přepětí)	29
3. Praktická část.....	30
3.1. Měření základních provozních charakteristik	31
3.2. Vyhodnocení kvality napětí	36
Závěr	44
Literatura.....	45

Seznam použitých symbolů a zkratek

A	- Ampér
a. s.	- akciová společnost
Al	- hliník
°C	- Celsiův stupeň
cm	- centimetr
Cu	- měď
č.	- číslo
ČEZ	- České energetické závody
ČSN	- Česká státní norma
ed.	- edice
EN	- Evropská norma
ER	- elektroměrový rozváděč
FeZn	- pozinkovaná ocel, (zemnicí pásek)
FFT	- Fast Fourier transform, rychlá Fourierova transformace
h	- hodina
HDO	- hromadné dálkové ovládání
HDS	- hlavní domovní skříň
HR	- hlavní domovní rozváděč
Hz	-Hertz
I	- elektrický proud [A]
IP	- ingress protection, stupeň krytí
kg	- kilogram
m	- metr
min	- minuta
mm	- milimetr
MWh	- megawatthodina

N	- Newton
např.	- například
NN	- nízké napětí
Obr.	- obrázek
Ω	- Ohm
PEN	- sloučený střední a ochranný vodič
P_{lt}	- dlouhodobá míra vjemu flikru [-]
§	- paragraf
PNE	- Podniková norma energetiky
PPN	- práce pod napětím
PRE	- Pražská energetika
P_{st}	- krátkodobá míra vjemu flikru [-]
R	- elektrický odpor [Ω]
resp.	- respektive
RMS	- Root mean square, efektivní hodnota
ŘPÚ	- řád preventivní údržby
Sb.	- Sbírka zákonů
Tab.	- tabulka
TDD	- typové diagramy dodávky elektřiny
THD	- činitel celkového harmonického zkreslení [%]
tzv.	-takzvaný
U_n	- jmenovité napětí [V]
V	- Volt
VA	- voltampér
VN	- vysoké napětí
Z	- impedance [Ω]
ZnO	- oxid zinečnatý

Seznam ilustrací a seznam tabulek

Obr. 1: Příklad paprskové sítě [2]	12
Obr. 2: Příklad okružní sítě [2]	13
Obr. 3: Příklad mřížové sítě [2]	13
Obr. 4: Kabel typu AYKYz [12]	15
Obr. 5: Kabel typu 1-AES [13]	15
Obr. 6: dřevěné sloupy: a - jednoduchý sloup J; b – sloup D; c – sloup U [10]	17
Obr. 7: dřevěné sloupy: d – sloup Š; e – sloup A; f – sloup Jp (s patkou) [10]	18
Obr. 8: Nejběžnější typy pojistek v elektrickém rozvodu – závitová, válcová a nožová [14, 15, 16]	21
Obr. 9: Ukázka symetrické a nesymetrické napájecí soustavy [18].....	27
Obr. 10: Úrovně napětí na kmitočtech signálů v procentech U_n pro sítě NN [17]	28
Obr. 11: Stožárová distribuční trafostanice BR 2142	30
Obr. 12: Jednotlivé přístroje Sonel MPI-530, Kyoritsu 4200, Sonel CMP-200.....	31
Obr. 13: Pohledy do otevřené trafostanice (přední a zadní pohled).....	32
Obr. 14: Pohled do podružného rozváděče R13	33
Obr. 15: Pohled do podružného rozváděče R24.....	35
Obr. 16: Pohled do otevřené HDS odběratele.....	36
Obr. 17: Zapojení síťového analyzátoru ENA 330 v trafostanici BR 2142	37
Obr. 18: Průběh frekvence první fáze napětí	38
Obr. 19: Histogram frekvence první fáze napětí	38
Obr. 20: Průběhy napětí všech tří fází	39
Obr. 21: Histogram všech tří fází napětí	39
Obr. 22: Průběh dlouhodobé míry flikru	40
Obr. 23: Histogram dlouhodobé míry flikru	40
Obr. 24: Průběhy THD	41
Obr. 25: Histogram THD	41
Obr. 26: Spektrum jednotlivých harmonických do 25. řádu	42
Obr. 27: Průběh interharmonické řádu 2,5	43
Obr. 28: Průběh interharmonické řádu 4,5	43
Tab. 1: Elektrické a mechanické parametry kabelu 1-AES pro venkovní provedení [13]	15
Tab. 2: Způsoby instalace vedení [7]	16
Tab. 3: Nejkratší vzdálenosti: A – holé vodiče, B – izolované [8]	16
Tab. 4: Běžné typy zemničů a jejich rozměry [6]	22
Tab. 5: Třídy typových diagramů dodávek [11]	24
Tab. 6: Úrovně jednotlivých harmonických napětí [17]	28
Tab. 7.1 – 7.3: Naměřené hodnoty na výstupu z transformátoru.....	31
Tab. 8.1 – 8.3: Naměřené hodnoty na vývodu směr Krásné Loučky 03 R-13	32
Tab. 9.1 – 9.4: Naměřené hodnoty pro podružný rozváděč R13 nacházející se na podpěrném bodu 98.....	34

Tab. 10.1 – 10.3: Naměřené hodnoty pro podružný rozváděč R24 nacházející se na podpěrném bodu 103	35
Tab. 11.1 – 11.3: Naměřené hodnoty v HDS odběratele na adrese K Ostrůvku 17	36
Tab. 12: Základní technické parametry analyzátoru ENA 330 [19]	37
Tab. 13: Celkové zhodnocení kvality napětí	42

Úvod

V dnešní moderní lidské společnosti je elektrická energie jednou z nejdůležitějších podmínek pro fungování ekonomiky, průmyslu, dopravy a dokonce i životaschopnosti celé lidské civilizace. Elektroenergetický systém je složen z rozsáhlého souboru zařízení pro výrobu, přenos, transformaci, distribuci a užití elektrické energie u koncových odběratelů, přičemž musí vyhovovat velmi vysokým nárokům na bezpečnost, spolehlivost, kvalitu a odolnost vůči nepříznivým vnějším vlivům. Elektrická energie se vyrábí v elektrárnách přeměnou z jiné formy energie (např. spalováním černého či hnědého uhlí v tepelných elektrárnách, využitím jaderné reakce při štěpení izotopu uranu v jaderných elektrárnách nebo využitím energie vody ve vodních elektrárnách). Mezi hlavní výhody elektrické energie patří snadná transformace na jiné druhy energie, dále její snadný přenos na velké vzdálenosti a možnost ji generovat ve velkých jednotkách. Hlavní nevýhodou této energie je vlastnost, že ji nelze snadno akumulovat.

Jedním z hlavních pilířů elektrizační soustavy je distribuční soustava, což je vzájemně propojený soubor vedení a zařízení, která rozvádí elektřinu od přenosové soustavy až k odběratelům. Distribuční sítě jsou provedeny venkovními, kabelovými či jinými vedeními, elektrickými stanicemi a rozvodem ke spotřebičům elektrické energie. V České republice zajišťují provoz distribučních soustav tři společnosti, a to: ČEZ Distribuce, a. s. pokrývající téměř celou republiku (kromě Prahy a jižních Čech a Moravy), dále společnost E.ON Distribuce, a. s. pokrývající jižní Čechy a Moravu a společnost PREdistribuce, a. s., jež spravuje území města Prahy.

Součástí distribuční soustavy je i rozvod nízkého napětí, tedy napětí o velikosti 400/230 V. Tato práce se zabývá právě tímto napětím a analýzou rozvodu.

Důležitým požadavkem na distributory elektrické energie s ohledem na správnou funkci spotřebičů je dodržování kvality napětí, která je dána normou ČSN EN 50160. Je žádoucí, aby napájecí napětí bylo střídavé, dokonale sinusové s konstantním kmitočtem a amplitudou.

1. Struktura venkovního rozvodu NN

Venkovní elektrické vedení se skládá ze stožárů, vodičů, izolátorů, armatur a základů. Vedení NN jsou napájeny z vedení VN přes transformátory, které jsou umístěny v trafostanicích a zajišťují transformaci vysokého napětí na nízké. Elektrické vedení se navrhuje jednak po stránce elektrické, která zahrnuje provozní napětí, proudové zatížení, úbytky napětí, přenosové ztráty, kompenzaci účinníku, jištění a další a jednak po stránce konstrukční a mechanické, zároveň se hledá optimální řešení, které vyhovuje oběma stránkám. Dále se vedení musí navrhovat tak, aby po dobu své životnosti sloužilo ke svému účelu ekonomicky s přijatelnou úrovní spolehlivosti, odolávalo šíření poruchy, nebylo příčinou zranění, resp. neohrožovalo život či majetek při výstavbě, provozu a údržbě, bylo bezpečné pro veřejnost a bylo přijatelné z hlediska vzhledu a životního prostředí. [3]

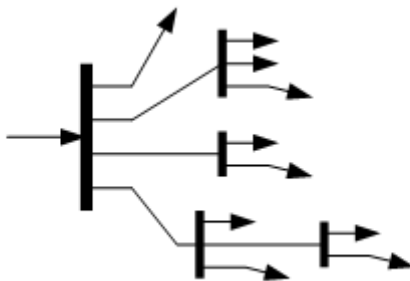
Jedním z hlavních rysů silnoprůdého rozvodu, který definuje vlastnosti a možnosti provozu je jeho topologie. Elektrický rozvod představuje soubor vodivých cest elektrické energie od zdroje až ke spotřebičům, resp. k odběratelům. Konfigurace sítě pak závisí na velikosti, počtu a rozmístění zdrojů a dále na velikosti, počtu, uspořádání a důležitosti spotřebičů. [2]

1.1. Druhy rozvodů NN

1.1.1. Paprskové sítě

V paprskových sítích jsou jednotlivé odběry zásobovány z vedení vycházejících z napájecího místa (transformovny nebo spínací stanice). Každý paprsek je samostatný a není možné je vzájemně pospojovat. Jedná se o nejlevnější typ rozvodu, ovšem v případě přerušení dodávky energie může následná oprava trvat i několik hodin, čili jistota zásobování je nejmenší. Tato síť se využívá především v obcích, malých městech nebo průmyslových závodech. [1]

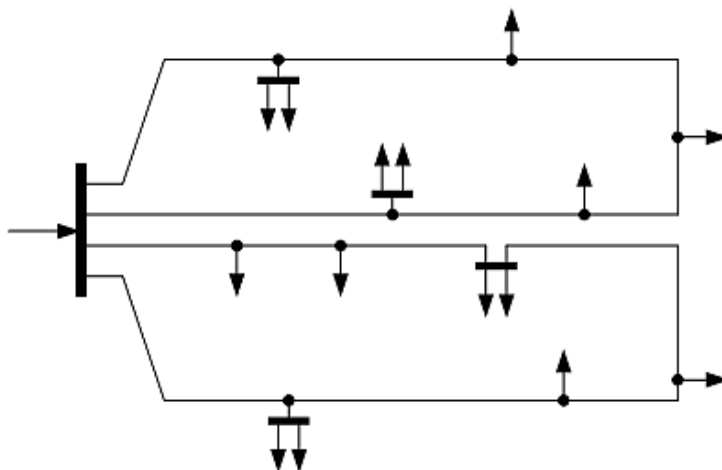
Mezi paprskové sítě lze zařadit i tzv. dvoupaprskový rozvod, který je tvořen kombinací dvou paprskových rozvodů s možností vzájemného záskoku dvou napájecích zdrojů. Využívá se pro napájení odběratelů z hlediska prvního stupně důležitosti (např. napájení požárních zařízení, či vlastní spotřeba elektrárny).



Obr. 1: Příklad paprskové sítě [2]

1.1.2. Okružní (smyčkové) síť

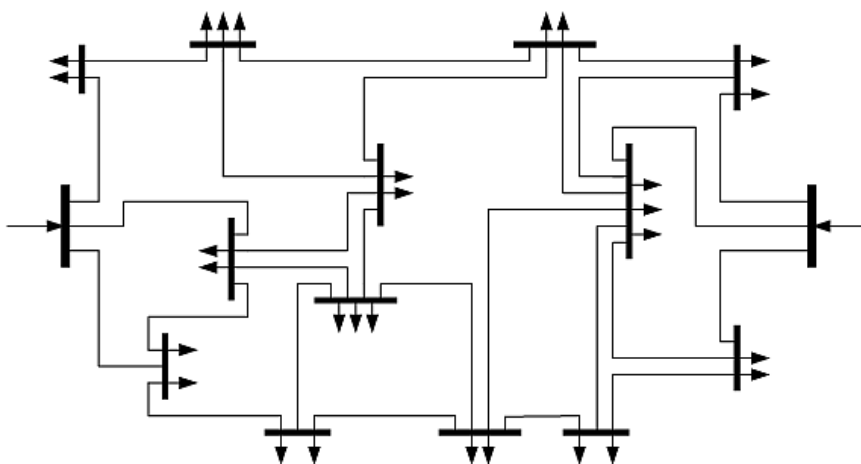
Jednotlivé paprskové či smyčkové odběry jsou napájeny z uzavřeného okruhu. Síť může být provozována jako rozepnutá nebo sepnutá, přičemž jednotlivé paprsky a polosmyčky jsou vedeny tak, aby se daly sepnout do uzavřených smyček. V případě poruchy je možné poškozený obvod přepnout buď ručně, nebo automaticky na sousední vývod. Vzhledem k větším délkám vedení, která jsou nutná pro vzájemné spojení, je tento typ rozvodu dražší než paprskový a využívá se často v průmyslových závodech, ale i v městské obytné zástavbě. [1]



Obr. 2: Příklad okružní sítě [2]

1.1.3. Mřížové síť

Tento typ sítě je možné vytvořit mezi minimálně dvěma napájecími místy a využívá se hlavně pro městské zástavby s větším množstvím odběrů. Takto vzniká rozvod, v němž jsou jednotlivé podružné rozváděče napájeny minimálně ze dvou stran a zároveň mohou některé rozváděče spojovat větší množství paprsků. Kabelová vedení jsou propojena na křižovatkách městských ulic do uzlu. Výhodou mřížové sítě je vysoká provozní spolehlivost, což ovšem vede k vyšším pořizovacím nákladům. [1]



Obr. 3: Příklad mřížové sítě [2]

1.2. Klimatické vlivy

1.2.1. Vítr

Pro venkovní vedení do 1 kV se v běžných případech zatížení větrem na jednotlivé části vedení neuvažuje. Jeho vliv se bere v úvahu jen ve výjimečných případech pro úseky vedení umístěné ve volném terénu.

1.2.2. Námraza

Při určitých klimatických podmínkách se na vodičích vytváří ledová vrstva, která způsobuje přídatné zatížení vodičů. Ke vzniku námrazy dochází při inverzi, což je stav, kdy je teplota ve větších výškách vyšší než je teplota při zemi. V podstatě dochází ke vzniku mlhy, sražené vodní páry, která v případě, že narazí na vodič, či stožár, začne vytvářet námrazu. Námraza vyvolává na vodičích svislé síly, způsobuje velké zatížení, které může vést až k přetržení vodičů, případně zlomení nebo ohnutí stožárů, a proto je vhodné námrazu z vedení v co nejkratší době odstranit, což se provádí buď skleпáváním izolačními tyčemi, nebo vyhříváním vodičů proudem. Tato metoda spočívá v průchodu takové velikosti proudu, aby činné ztráty rozpustily část vrchního námrazku, zbylá část námrazku pak samovolně spadne.

1.2.3. Teplota

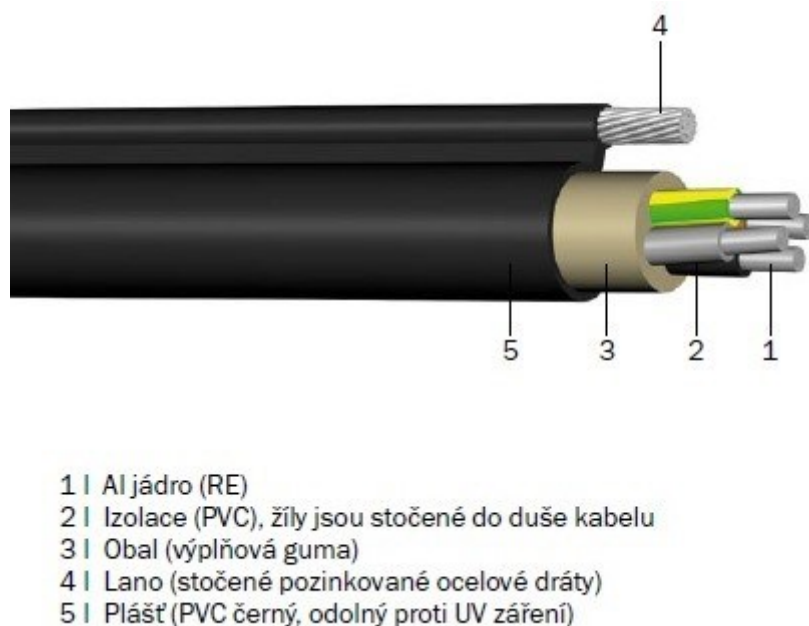
Vlivem změny teploty dochází ke změně délky vodičů a tím i jeho namáhání včetně průhybu a silového působení na podpěrné body. Pro Českou republiku se uvažuje rozptyl teplot od -30 do $+40$ °C, přičemž uvažování maximální teploty je nezbytné z hlediska výpočtu pro maximální průhyb vodiče a minimální teplota, při níž nastane maximální zkrácení vodičů, je nezbytná z hlediska výpočtu sil, jež působí na izolátory. [3]

1.3. Vodiče

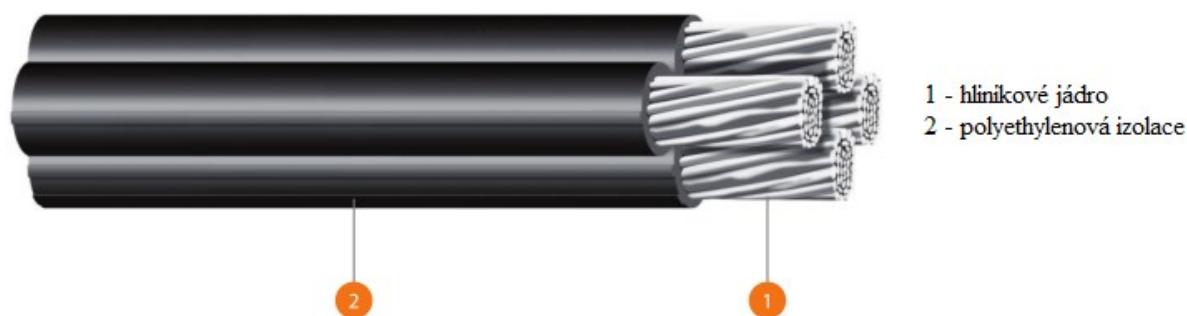
Nejdůležitější částí venkovních vedení jsou vodiče, jeho volba ovlivňuje elektrické a mechanické vlastnosti a jsou realizovány buď pomocí drátů (plný kruhový průřez), lan (vodič stočený z několika tenkých drátů kruhového průřezu) nebo závěsných kabelů. Lana jsou složena buď z jednoho kovu (měď, bronz, hliník, hliníkové slitiny, ocel), nebo ze dvou kovů. Na vodiče jsou stanoveny předpisy na minimální průřezy, přičemž průřez se volí s ohledem na dovolené zatížení, úbytek napětí a na ztráty. Vodiče je nutné také dimenzovat z mechanického hlediska, jedná se o mechanické namáhání vlastní tíhou, námrazou, tlakem větru a kontroluje se také průhyb.

V minulosti se pro venkovní vedení do 1 kV jako první používaly měděné vodiče ve formě drátů o průřezu $6 - 25 \text{ mm}^2$. Jednalo se o tzv. tvrdou nebo polotvrdou měď s dobrou pevností a elektrickou vodivostí. Vlivem vysokých pořizovacích nákladů se montáž těchto vodičů již ukončila. Poté se používala AlFe lana o minimálním průřezu 16 mm^2 , která jsou tvořena ocelovým nosným jádrem, na kterém jsou navinuty ve vrstvách hliníkové dráty. Tyto lana vykazují v porovnání s drátem větší hmotnost, větší elektrický odpor, menší pevnost a menší indukčnost. Na hlavní vedení tvořené AlFe lany se připojovaly k odběratelům závěsné kabely

typu AYKYz tvořenými čtyřmi žilami se zalisovaným nosným lanem ve společném plášti (obr. 4). V současné době se AlFe lana i kabely typu AYKYz již nahrazují izolovanými vodiči typu 1-AES (obr. 5), které jsou stočené do jednoho společného samonosného vedení, kde jednotlivé žíly jsou rozpoznatelné na základě podélných výstupků na izolaci, (zemnicí žíla má značku pro uzemnění). Tyto izolované vodiče se také používají pro přípojky. Společným znakem pro vedení nízkého napětí a navazujících přípojek ze závěsných vodičů je, že se upevňují přímo na konstrukci, a to tak, aby se nepoškodila izolace. Způsoby možné instalace vodičů určuje tabulka 2. [3]



Obr. 4: Kabel typu AYKYz [12]



Obr. 5: Kabel typu 1-AES [13]

Tab. 1: Elektrické a mechanické parametry kabelu 1-AES pro venkovní provedení [13]

Počet a průřez žil (mm ²)	Průměr (mm)	Hmotnost (kg/km)	Poloměr ohybu (mm)	Činný odpor při 20 °C (Ω/km)	Zatížitelnost na vzduchu (A)
4x16	17	265	204	1,91	59
4x25	21	403	252	1,20	85
4x35	24	537	288	0,868	106

4x50	27	707	324	0,641	133
4x70	31	971	372	0,443	170
4x95	37	1322	444	0,320	196
4x120	40	1620	480	0,253	240

Tab. 2: Způsoby instalace vedení [7]

Vodiče a kabely		Způsoby instalace							
		A	B	C	D	E	F	G	H
Holé vodiče		-	-	-	-	-	-	+	-
Izolované vodiče		-	-	+	+	+	-	+	-
Kabely s pláštěm	Vícežilové	+	+	+	+	+	+	0	+
	jednožilové	0	+	+	+	+	+	0	+
- Není dovoleno; + je dovoleno; 0 nepoužívá se nebo nelze použít									

A – neuchycené, B – přímo uchycené, C – elektroinstalační trubky, D – úložné elektroinstalační kanály, E – protahovací elektroinstalační kanály, F – kabelové žebříky, lávky, konzoly, G – na izolátorech, H – závěsné příchytky

1.3.1. Vzdálenosti vodičů

Aby byl provoz elektrického vedení bezpečný, je nutné zajistit určité minimální vzdálenosti vodičů, tak aby nemohlo vzniknout elektrické spojení mezi vodiči ani mezi vodiči a nosnou konstrukcí vlivem provozních stavů, klimatických podmínek či cizím zásahem.

Tab. 3: Nejkratší vzdálenosti: A – holé vodiče, B – izolované [8]

Daná vzdálenost	A (m)	B (m)
Mezi vodiči a vodivými částmi podpěrných bodů	0,1	x
Vodičů od země na místech volně přístupných	6	5,5
Vodičů od země na místech zcela nepřístupných	1	1
Vodičů od porostů, kde se nepředpokládá výstup osob	0,5	0,5
Vodičů od porostů, kde se předpokládá výstup osob	1	0,5
Pro vedení nad budovami v neschůdných částech	0,5	0,3
Pro vedení nad budovami ve schůdných částech	4	3
Pro vedení v blízkosti budov – vodorovná vzdálenost	2	1
Pro vedení křižující pozemní komunikaci (silnice I., II. a III. třídy)	6	5,5

1.4. Podpěrné body – sloupy, izolátory

Sloupy jsou základním konstrukčním prvkem elektrického vedení. Montují se na ně konzoly nesoucí vodiče. Jejich rozměry a tvar závisí na provozním napětí, druhu a počtu fázových vodičů a zemnicích lan, vzájemném uspořádání vodičů, dále také na terénu, únosnosti půdy a funkci. Všechny sloupy potřebují pevné základy, aby vlivem zatížení nebyla ohrožena jejich stabilita. Z hlediska použitého materiálu lze sloupy rozdělit na dřevěné, betonové a ocelové.

1.4.1. Dřevěné sloupy

Využívají se pouze v místech, kde nelze postavit sloup betonový, jedná se především o chráněné krajinné oblasti či národní parky, případně v obcích, kde stavbu požadují územní orgány. Tyto sloupy lze montovat buď na již připravené železobetonové patky, přičemž k patce se připevňují svorníky tak, aby svým spodním okrajem byly minimálně 20 cm od země, nebo lze montáž provést přímo do země. Jako dřevěný materiál se používají jehličnaté stromy, např. smrk, jedle, borovice, modřín. Nevýhoda dřevěných sloupů tkví v tom, že podléhají hnilobě, především v přechodu dřeva do země, proto je nutná impregnace dřeva, která prodlouží životnost sloupu až na 30 let. Hnilobu je nutné u sloupů kontrolovat, v případě poklesu pevnosti dřeva na polovinu je nezbytné sloup vyměnit. Dříve se využívala impregnace dehtovým olejem, dnes se používá tlakový karbolový nátěr.

Typy dřevěných sloupů:

h – výška sloupu nad zemí

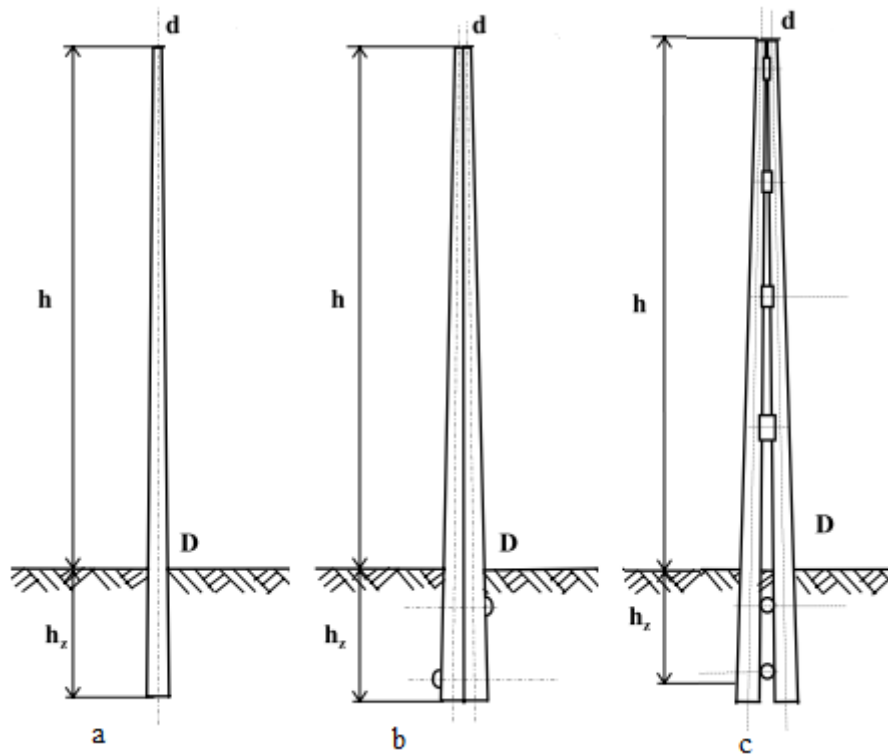
h_z – hloubka založení

h_p – výška horního šroubu patky nad zemí

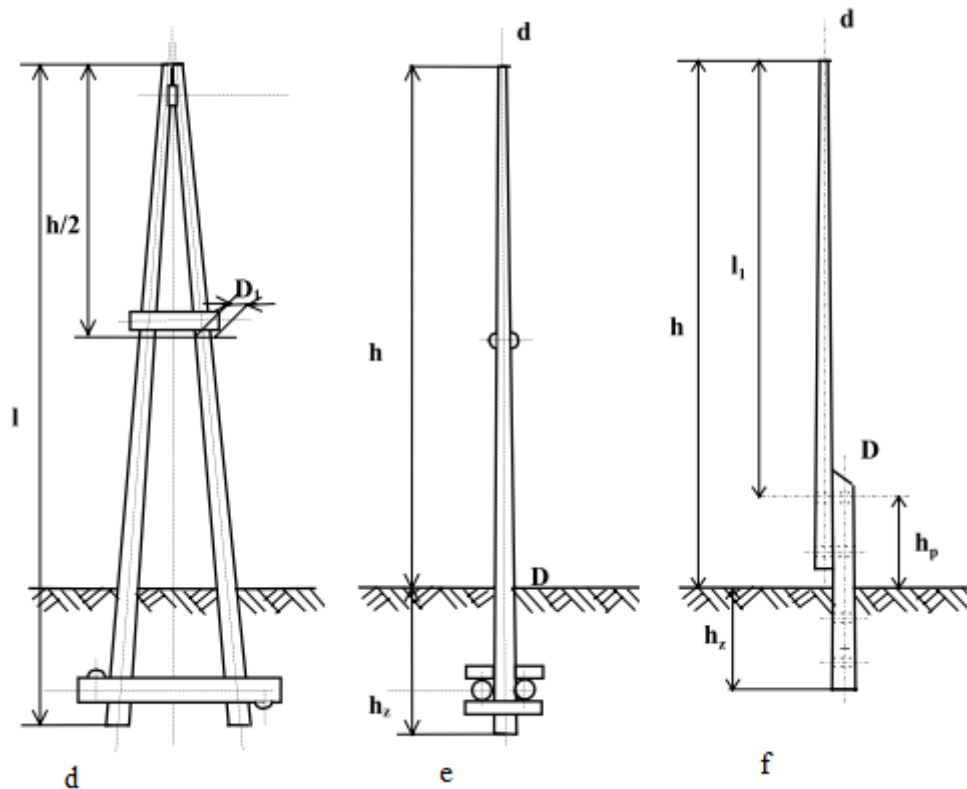
d – průměr sloupu v čepu

D – průměr sloupu v místě vetknutí nebo u horního šroubu patky

D_1 – průměr sloupu v polovině vzpěrné délky



Obr. 6: dřevěné sloupy: a - jednoduchý sloup J; b – sloup D; c – sloup U [10]



Obr. 7: dřevěné sloupy: d – sloup Š; e – sloup A; f – sloup Jp (s patkou) [10]

1.4.2. Betonové sloupy

Betonové sloupy, které v současné době nahrazují sloupy dřevěné, se vyrábějí z betonové směsi v délkách od 9 do 13,5 m se zatěžovací vrcholovou silou 3 až 20 kN, průřez sloupu má tvar mezikruží. Na každém sloupu se nachází štítek s údaji o výrobcí, typu sloupu a datu výroby a otvor pro protažení zemního vedení. Usazení sloupu se provádí v hloubkách od 1,8 do 2,2 m, zároveň musí být zohledněna vrcholová síla, která určuje množství základového betonu. Mezi výhody těchto sloupů patří větší odolnost proti povětrnostním vlivům a větší nosnost kabelového vedení, nevýhodou je velká hmotnost a s tím spojená náročná doprava a montáž.

1.4.3. Ocelové plechové sloupy

Tyto sloupy jsou situovány především do příměstských oblastí a do míst bez přístupu mechanizace. Vyrábí se svařováním z ocelového plechu do kónického tvaru o kruhovém nebo mnohoúhelníkovém průřezu. Aby nedocházelo vlivem vlhkosti ke korozi, je konstrukce ještě žárově pozinkována a ve většině případů i natřená. V porovnání s dřevěnými a betonovými sloupy mají ocelové sloupy mnohem delší životnost, ta může být více než dvojnásobná.

1.4.4. Střešníky a konzoly

Jedná se o podpěrné body sloužící pouze pro přípojky k odběratelům, jen ve výjimečných případech se na ně upevňuje hlavní vedení.

Střešníky jsou ocelové trubky připevněné do konstrukce domů a jejich použití je především v místech, kde je potřeba zvýšit závěsnou výšku vodičů, k jejich lepší stabilizaci, s ohledem na případné přenášené síly, slouží vzpěry a kotvy.

Pro osazení střešních trubek se používají ocelové profily typu U, které se zaústíjí přímo do zdiva objektu, nebo se montují na střešní (nosné) trámy objektu.

1.4.5. Izolátory

Zajišťují mechanické upevnění vodičů pod napětím k místům s nulovým nebo jiným potenciálem. Izolátory musejí odolávat mechanickým, elektrickým a klimatickým vlivům. Konstruují se především z porcelánu, skla či na bázi umělých hmot. Pro venkovní vedení s AIFe lany se používají podpěrné izolátory hříbového tvaru, které se usazují na konzoly do předem připravených roubíků. V případě použití izolovaných vodičů 1-AES je nutné použít objímky a k tomu potřebné nosné prvky. [1]

1.5. Elektrické stanice

Elektrické stanice jsou součástí elektrizační soustavy zajišťující transformaci elektrické energie na jinou hodnotu napětí a její rozvádění. Elektrickou část stanice tvoří rozvodná zařízení, která zajišťují rozvod, jištění, měření a kontrolu elektrické energie, dále sem patří transformátory a kompenzační zařízení.

1.5.1. Dělení elektrických stanic

a) transformovny – zajišťují transformaci elektrické energie na požadovanou hodnotu napětí a její následný rozvod, obsahují výkonové transformátory propojující dvě nebo více sítí s jinými napětími. Transformátory se umísťují buď pod širým nebem, nebo ve zvláštních transformátorových komorách. Rozlišují se transformovny průmyslové a distribuční. Při jejím dimenzování se vychází ze jmenovitých parametrů transformovny ze strany vyššího a nižšího napětí a ze zkratových údajů, rovněž se také zohledňuje koordinace izolační hladiny transformovny.

b) spínací stanice – zajišťují spínání a rozvod elektrické energie téhož napětí. Jejich výstavba je v současné době již na ústupu, protože s ohledem na hospodárnost výstavby a provozu se do uzlů elektrizační soustavy soustřeďuje obvykle také napájení sítí nižšího napětí, což vede k použití transformoven.

c) měnírny – zajišťují přeměnu a rozvod střídavého proudu na proud jiného kmitočtu nebo na proud stejnosměrný nebo naopak. Změnu kmitočtu střídavého proudu, či jeho usměrnění zajišťují frekvenční měniče a usměrňovače. Tyto stanice mohou být součástí rozvodu, v němž se uplatňuje přenos pomocí stejnosměrného proudu.

d) kompenzační stanice – zajišťují kompenzaci v elektrickém rozvodu, především kompenzaci jalového výkonu. [3]

1.5.2. Rozvodná zařízení NN

Provádějí se jako rozváděče a zajišťují hlavně distribuci elektrické energie, k tomuto účelu jsou vybaveny jedním nebo více systémy přípojníc, dále umožňují instalaci měřicích, jisticích, ovládacích a regulačních prvků. Instalují se v různých prostředích a musí odpovídat určitému krytí před vniknutím cizích předmětů a vody. Druhy rozváděčů – panelové, zápusťné, pilířové, rámové. [3]

Elektroměrový rozváděč – rozváděč NN obsahující konstrukci a přípravky pro montáž měřicího zařízení a souvisejících přístrojů, mezi které patří elektroměr, měřicí transformátory a ovládač HDO. V budovách se umísťují nejčastěji v samostatném, požárně odděleném a neuzamykatelném prostoru, nebo na chodbě. U rodinných domků se umísťují nejčastěji na veřejně přístupné místo, na hranici pozemku, pokud ovšem bude měřicí zařízení chráněno před účinky vnějších vlivů prostředí, dále je možné je umístit do pilířů v oplocení. [4]

1.6. Jištění

Nezbytným předpokladem pro správnou funkci elektrických zařízení je jištění daného elektrického rozvodu před poruchovými stavy danými zvýšením proudu nad jmenovitou hodnotu. Tyto nadproudy lze rozdělit do dvou kategorií, a to na proudy, které vznikají při přetížení, jejichž hodnota je vyšší než jmenovitá, ale přesto nedosahuje hodnot zkratových a na proudy, které vznikají při zkratu, jejichž hodnota je mnohonásobně větší než hodnota jmenovitého proudu. Doba trvání těchto nepříznivých stavů může být v řádech milisekund až desítek minut.

Při jištění elektrického rozvodu se musí zohlednit tyto zásady:

- Při nadproudech se vlivem přetížení nesmí jádro jištěného vodiče zahřát na takovou teplotu, při které by byla překročena maximální dovolená teplota jádra, než by došlo k vypnutí daného přetížení, resp. při zkratu než se vypne zkrat.
- Nesmí nastat nežádoucí působení jisticích prvků při běžném provozním stavu.
- Jistící prvky by měly odpojit jen poruchovou část rozvodu. [9]

1.6.1. Jistící přístroje

Pojistka – jedná se o konstrukčně nejjednodušší, jednorázový elektrický přístroj bez kontaktů chránící obvod proti nadproudům. Keramické těleso obsahuje tavný vodič zapojený do série, který se účinkem nadproudů přetaví a přeruší elektrický obvod. Po přetavení vzniká elektrický oblouk, který je uhašen v zrnitém hasivu (křemičitý písek). Velké nadproudy způsobí velmi rychlé přetavení tavného vodiče, zatímco malé změny proudu vyvolané přetížením vedou k dlouhým dobám tavení, proto se pojistky využívají především k jištění sítí proti zkratovým proudům. Pojistka se také vyznačuje tzv. omezovací schopností, což znamená, že dokáže vypnout zkratový proud dříve, než dosáhne svého prvního maxima.

Typy pojistek:

Závitové – konstruuji se v rozsahu 2 – 80 A a jsou určeny především pro domovní a průmyslové rozvody, dnes jsou již nahrazovány válcovými pojistkami (PV), které se zasouvají do odpojovačů.

Výkonové – pro jmenovité proudy větší než 100 A a zkratové proudy do desítek kA, vyrábí se nejčastěji v nožovém provedení, kdy patrona pojistky je na obou víkách opatřena nožovými kontakty, které se zasouvají do pérových kontaktů. Tyto pojistky je možné vyměnit i pod napětím pomocí izolačního držadla. Pro proudy nad 600 A se výkonové pojistky zapojují paralelně v upraveném pojistkovém spodku. Mimo jiné chrání také hlavní vedení NN přímo v trafostanici.



Obr. 8: Nejběžnější typy pojistek v elektrickém rozvodu – závitová, válcová a nožová [14, 15, 16]

Jistič – Zajišťuje jištění jak sítě, tak spotřebiče, při vypínání velkých nadproudů se nesmí poškodit. Samočinně vypíná poruchové stavy pomocí pružiny, která se při zapnutí napne a napnutá poloha je zajištěna zámkem. Uvolnění zámků je realizováno pomocí dané spouště. Ta může být buď elektromagnetická (nadproudová / podpět'ová), nebo tepelná. Nadproudová spoušť zapůsobí tehdy, pokud proud přestoupí určitou předem nastavenou velikost a podpět'ová v případě, že se napětí sítě snížilo pod jmenovitou hodnotu. Základem tepelné spouště je bimetal (dvojkov), kdy každý kov má jiný součinitel délkové roztažnosti, vlivem ohřevu se kov s větším součinitelem délkové roztažnosti prodlouží a zapůsobí na zámek, čímž ho uvolní.

Návaznost působení jisticích přístrojů se označuje selektivitou jištění. Pokud je tedy vedení jištěno na začátku pojistkou a spotřebič na konci jističem a dojde-li k přetížení spotřebiče, musí vypnout nejprve jistič.

Spodič přepětí – Zajišťuje ochranu venkovního vedení především proti atmosférickým a spínacím přepětím odvedením převážné části energie vázanou na vlnu přepětí do země, kde se rozptýlí. Mezi přepět'ové ochrany v sítích NN patří bezjiskřivé omezovače na bázi ZnO,

jejichž hlavní výhodou je, že reagují okamžitě na přepětí. Umísťují se především na konec daného vedení. [5]

1.7. Uzemnění

Zajišťuje provedení nutných spojení, aby dané místo sítě bylo udržováno pokud možno na potenciálu země. Hlavní funkcí uzemnění je tedy udržovat určitou část elektrického obvodu na potenciálu země, umožnit funkci a chránit elektrická zařízení, omezit přepětí a chránit před úrazem elektrickým proudem. Přechod mezi zemničem a zemí určuje zemní odpor, který vyjadřuje poměr napětí zemniče proti zemi a proudu procházejícího zemničem

Uzemnění lze rozdělit na 2 základní typy:

Pracovní – trvalé nebo dočasné spojení části elektrického zařízení, kterým se má zabránit nežádoucímu vzrůstu napětí.

Ochranné – spojení neživých částí elektrických zařízení se zemí, kterým se má zabránit možnosti vzniku nebezpečného napětí na jeho částech.

Na rozvodu hlavního vedení NN je nutné uzemnit vodič PEN ve vzdálenostech minimálně každých 500 m pomocí ocelového pásu, který se ukládá do hloubky 0,6 – 0,7 m. Na trase vedení musí dosahovat hodnota uzemnění maximálně 15 Ω s tím, že se klade zemničí pásek s maximální délkou 20 m a na konci vedení musí být hodnota uzemnění nejvýše 5 Ω s maximální délkou pásu 50 m. Zemniče je nutné chránit před korozi a při přechodu země – vzduch se zemnič chrání pomocí izolačního pásu.

Zemniče - Typ, materiál a rozměr zemničů musí být zvolen tak, aby odolával korozi a měl určitou mechanickou pevnost po plánovanou dobu života. Na korozi se podílí hlavně: pH půdy, její vlhkost a rezistivita, chemické znečištění. Účinnost zemniče je závislá na místních půdních podmínkách a dle půdních podmínek a požadované hodnoty odporu uzemnění se volí jeden nebo více zemničů. Zemniče se nesmí ukládat do proudící vody, řeky, rybníka, jezera apod. Pokud je zemnič složen z více částí, které se musí vzájemně propojit, je nutné spojení provést svařením, příslušnou svorkou nebo vhodnými mechanickými spojkami.

Používané zemniče:

Základový zemnič v betonu nebo půdě, kovové elektrody uložené přímo v zemi buď vertikálně nebo horizontálně (tyče, dráty, pásy), dále kovové pláště nebo kovové obaly kabelů dle daných požadavků.

Tab. 4: Běžné typy zemničů a jejich rozměry [6]

Materiál a povrch	Tvar	Průměr (mm)	Průřez (mm ²)
Ocel uložená v betonu	Kruhový drát	10	
	Tuhý pásek		75
Ocel pozinkovaná v ohni	Pásek nebo tvarovaný pásek		60
	Kruhová tyč uložená svisle	16	

	Kruhový drát uložený vodorovně	10	
	Trubka	25	
	Lano uložené v betonu		70

1.8. Podmínky připojování odběratelů

Připojování konečných odběratelů do elektrické sítě je umožněno pomocí přípojkové skříně, která zároveň zajišťuje i jištění celého odběrného zařízení. Jistící prvky zabráňují přenosu vzniklých zkratových proudů z odběrného místa do rozvodné sítě a také umožňují mechanické odpojení odběrného zařízení daného objektu od rozvodné sítě.

Podle ČSN 33 3320 ed. 2 je přípojkovou skříní:

- Hlavní domovní pojistková skříň, je-li přípojka provedena venkovním vedením a zároveň nezáleží na typu odběrového vedení (holé vodiče, izolované vodiče, závěsné kabely).
- Hlavní domovní kabelová skříň, je-li přípojka provedena kabelovým vedením.
- Patří zde také koncové či průběžné připojení vodičů.

Přípojkové skříně se mohou umístit do zdiva, kde jsou upevněny montážní pěnou, na sloup, zde se nejčastěji upevňují ve výšce 2,5 – 3 m pomocí nerezové pásky Bandimex nebo se osazují na příslušný pilíř. Z hlediska technických norem se přípojkové skříně považují za rozváděče nízkého napětí a přístup k těmto rozváděčům mají pouze osoby s příslušnou kvalifikací dle vyhlášky č. 50/1978. Jsou vyráběny jako betonové skříně s plastovými nebo plechovými dveřmi z nekorozního materiálu, aby odolávaly působení vnějším klimatickým účinkům, nebo se vyrábí jako celoplastové, zde se používají termoplastové a termosetové materiály, které musí odolávat statickému a dynamickému namáhání, ohni a klimatickým vlivům. Z přípojkové skříně (HDS) je vyveden kabel – hlavní domovní vedení o průřezu minimálně 16 mm² pro hliník nebo 10 mm² pro měď v provedení vodičů s plnými jádry nebo slanými vodiči, který zajišťuje napájení elektroměrového rozváděče (ER), z něhož odchází kabelové vedení do hlavního domovního rozváděče (HR).

Standardně se na přípojky pro venkovní vedení používají závěsné, izolované nebo holé vodiče, přičemž holé vodiče se používají jen ve výjimečných případech z ekonomických důvodů. Hlavní výhody závěsných kabelů je minimální poruchovost, bezpečnost provozu, jednoduchá montáž, snadná trasa přípojky a ochrana před úrazem elektrickým proudem. V současné době je nejrozšířenějším typem závěsného kabelu pro nové přípojky kabel 1-AES. [4]

1.8.1. Technologická montáž přípojky ze závěsného kabelu

Kabel se upevňuje díky podpěrnému bodu, kterým může být kotevní konzola vetknutá do nemovitosti nebo střešník, kdy se na podpěrný bod připevní kotevní objímka s napínačem. Přípojky do 30 m lze použít, aniž by byl nutný podpěrný bod pro závěsný kabel. Při větších vzdálenostech je závěsný kabel upevněn pomocí závěsného háku nebo svorky na sloup. Pokud jsou připraveny všechny podpěrné body pro natažení přípojky, lze nyní odměřit potřebnou délku kabelu, přičemž se počítá s dostatečně dlouhými konci na obou stranách pro připojení. Poté se

připojí vedení do hlavní domovní skříně (HDS) a pak se přípojka může napojit na hlavní vedení, které se provádí již pod napětím. Napojení se provádí pomocí pracovních postupů PPN osobou zodpovědnou pro provádění práce PPN. [4]

1.8.2. Typové diagramy dodávky elektřiny

Typové diagramy (TDD) popisují na základě vyhlášky č. 408/2015 Sb. o Pravidlech trhu s elektřinou rozdělení spotřeby elektřiny v MWh v daném odběrném místě do jednotlivých dní a měsíců podle typického tuzemského spotřebitele na základě dlouhodobého sledování. V podstatě vyjadřují průběh spotřeby v čase podle velikosti hodinového odběru. Podle získaných statistických dat z měření vzorků daných odběratelů bylo stanoveno 8 charakteristických odběrů skupin spotřebitelů užívajících elektřinu pro tepelné spotřebiče nebo pro její transformaci na teplo, viz tab. 5.

Vyhláška dále rozděluje spotřebitele do 4 kategorií, a to A, B, C a D. Odběratel kategorie A má odběrné místo připojeno k přenosové soustavě, nebo k distribuční s napětím mezi fázemi vyšším než 52 kV. Odběratel kategorie B má odběrné místo připojeno k distribuční soustavě s napětím mezi fázemi od 1 do 52 kV. Odběratel kategorie C představuje odběr, který nepatří do kategorií A, B a D. Odběratel kategorie D má odběrné místo připojeno k distribuční soustavě s napětím mezi fázemi do 1 kV, přičemž využívá elektřinu k uspokojování vlastních potřeb souvisejících s bydlením a provozem domácnosti. [11]

Tab. 5: Třídy typových diagramů dodávek [11]

Třída TDD	Typ odběratele dle dané kategorie	Charakter odběru	Pevné ceny distribuce dle cenového rozhodnutí Úřadu
1	C	Bez tepelného využití elektřiny	C01d, C02d, C03d
2	C	S akumulčním spotřebičem S hybridním vytápěním	C25d, C26d, C 27d, C35d
3	C	S přímotopným systémem vytápění S tepelným čerpadlem	C45d, C46d, C56d
4	D	Bez tepelného využití elektřiny	D01d, D02d, D61d
5	D	S akumulčním spotřebičem	D25d, D26d, D27d
6	D	S hybridním vytápěním	D35d
7	D	S přímotopným systémem vytápění S tepelným čerpadlem	D45d, D55d, D56d, D57d
8	C	Pro veřejné osvětlení	C62d

2. Kvalita napětí

Základní charakteristiky napětí v místě připojení odběru z veřejné distribuční sítě nízkého nebo i vysokého a velmi vysokého napětí při běžných provozních podmínkách popisuje evropská norma ČSN EN 50160. Norma udává nejen hodnoty, které lze při měření daných charakteristik očekávat, ale definuje také toleranční meze jednotlivých parametrů. Charakteristiky se v závislosti na čase nahodile mění, přičemž ke kolísání napájecího napětí dochází vlivem změny zatížení, rušením vyvolaným určitým zařízením nebo výskytem poruchy v síti.

2.1. Kmitočet sítě

Kmitočet neboli frekvence určuje počet opakování za 1 s, její jednotkou je hertz [Hz]. K udržení konstantní velikosti kmitočtu se vyžaduje dostatečný výkon, který je závislý na okamžité velikosti celkového odběru. Aby se snížilo riziku nárůstu nebo poklesu kmitočtu v elektrizační soustavě v důsledku poruch ve výrobě, přenosu či distribuci, dochází k propojení mnoha sítí do jedné velké propojené soustavy, v níž je již výkon dostatečně velký ve srovnání se změnami, které by se mohly vyskytnout. Monitorování kmitočtu zajišťuje v příslušné oblasti dispečer.

Normou definovaná velikost jmenovitého kmitočtu napájecího napětí je 50 Hz, přičemž za normálních provozních podmínek se musí střední hodnota kmitočtu, měřená v intervalu 10 s, nacházet u systémů se synchronním připojením v intervalu 49,5 Hz – 50,5 Hz, čili se respektuje tolerance $50 \text{ Hz} \pm 1 \%$ v průběhu 99,5 % roku a zároveň po zbývajícím čase 0,5 % roku nesmí dojít k tomu, že by se frekvence napájecího napětí nacházela mimo interval 47 Hz – 52 Hz, čili v toleranci $50 \text{ Hz} + 4 \%$ / $- 6 \%$.

V případě systému bez synchronního připojení, tedy jedná-li se o ostrovní režim napájení, je normou definovaný interval 49 Hz – 51 Hz, tedy tolerance $50 \text{ Hz} \pm 2 \%$ po dobu 95 % týdne a po zbývajícím čase se frekvence nesmí nacházet mimo interval 42,5 Hz – 57,5 Hz, tedy v toleranci $50 \text{ Hz} \pm 15 \%$. [17]

2.2. Napájecí napětí

Velikost napájecího napětí odpovídá napětí jmenovitému U_n , což je napětí, na které je daná síť navržena nebo označena a k níž se vztahují příslušné provozní charakteristiky.

Velikost napětí v síti kolísá na základě připojování a odpojování různých zátěží. Podle normy musí být za normálních provozních podmínek během každého týdne 95 % průměrných efektivních hodnot napájecího napětí v měřicích intervalech 10 minut hodnota jmenovitého napětí U_n v tolerančním pásmu $U_n \pm 10 \%$, což pro síť s nízkým napětím 230 V proti zemi odpovídá intervalu 207 V – 253 V.

Pokud napájecí napětí dané sítě není přímo připojeno k přenosové síti, nebo pro speciální dálkově ovládané uživatele, pak všechny průměrné efektivní hodnoty napájecího napětí měřené v intervalech 10 minut se musí vyskytovat v toleranci $U_n + 10 \%$ / $- 15 \%$, což odpovídá intervalu

195,5 V – 253 V. V případě, že by velikost napětí byla mimo daný interval, jednalo by se o přepětí resp. podpětí, což jsou nežádoucí stavy vedoucí ke stárnutí a poškození izolace, dále způsobují přídatné ztráty a důsledkem může být i vznik zkratu. [17]

2.3. Rychlé změny napětí a flickr

Rychlá změna napětí představuje změnu efektivní hodnoty napětí mezi dvěma po sobě následujícími stavy napětí, jež trvají určitou nestanovenou dobu a jsou většinou způsobeny změnou zátěže, spínáním v síti či poruchami. Za normálních provozních podmínek rychlá změna napětí obvykle nepřekročí 5 % jmenovitého napětí sítě NN, nicméně za určitých okolností může dojít během dne ke krátkodobým změnám do 10 % jmenovitého napětí.

Flickr je definován jako jev nestálosti zrakového vnímání vyvolaný světelným podnětem, jehož jas nebo spektrální rozložení kolísá v čase vlivem rychlého kolísání napětí, což znamená, že změna napájecího napětí se projeví změnou světelného toku daného světelného zdroje a dochází k blikání.

Míra vjemu flickru se rozděluje na krátkodobou, která se značí P_{st} (měřená po dobu 10 min) a dlouhodobou (měřená po dobu 120 minut), která se značí P_{lt} a vypočítá se pomocí následujícího vztahu:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}} \quad [-] \quad (1)$$

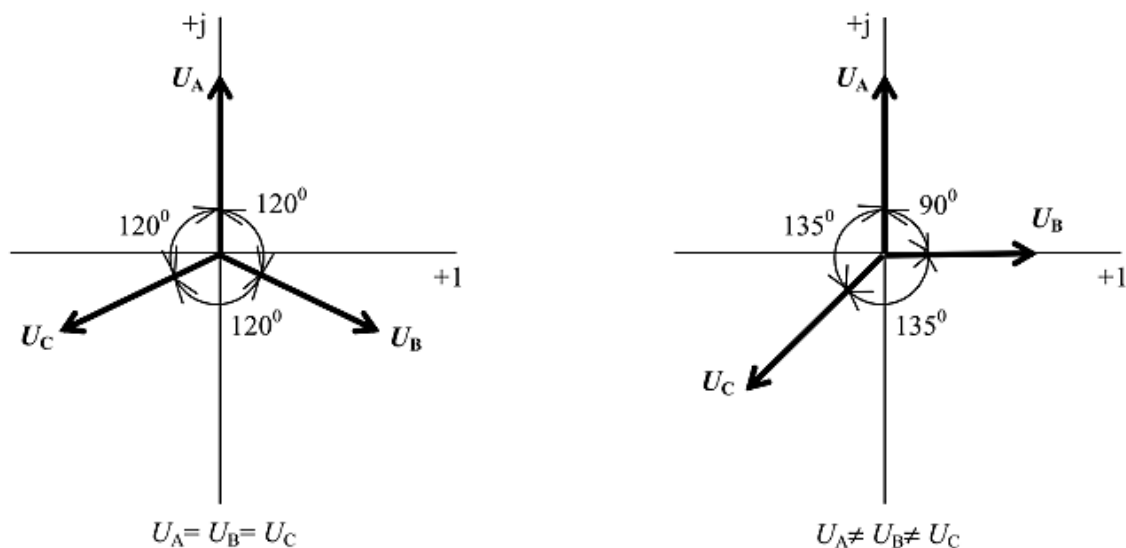
Za normálních provozních podmínek musí platit pro míru dlouhodobého vjemu flickru P_{lt} po dobu 95 % času v libovolném týdenním období: $P_{lt} \leq 1$. [17]

2.4. Nesymetrie napájecího napětí

Nesymetrie napětí v trojfázové síti je způsobena nerovnoměrným zatížením jednotlivých fází, což vede ke vzniku nesymetrických proudů, jednotlivá fázová napětí se pak liší efektivní hodnotou a fázovým posunem, důsledkem je pak tepelné přetěžování daných zařízení a vyšší ztráty. Nesymetrickou napájecí soustavu lze vytvořit složením tří souměrných složek: sousledná (jednotlivá fázová napětí mají stejný sled fází jako skutečná nesymetrická soustava), zpětná (jednotlivá fázová napětí mají opačný sled fází než skutečná nesymetrická soustava) a nulová (jednotlivá fázová napětí mají nulový fázový posun mezi sebou).

Míra nesymetrie napájecího napětí se posuzuje na základě činitele nesymetrie, který je dán jako poměr efektivní hodnoty zpětné a sousledné složky:

$$\rho = \frac{U_2}{U_1} \cdot 100 \% \quad [\%] \quad (2)$$



Obr. 9: Ukázka symetrické a nesymetrické napájecí soustavy [18]

Podle normy musí být za normálních provozních podmínek v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot zpětné složky napájecího napětí v rozsahu 0 % – 2 % sousledné složky, v některých případech se vyskytuje nesymetrie do 3 %.

2.5. Harmonická napětí

Harmonická napětí jsou sinusová napětí s frekvencí, která je rovna celistvému násobku základní harmonické složky napájecího napětí, jejich výskyt je způsoben především nelineárním zatížením odběratelů připojených do napájecí sítě. Vyhodnocují se na základě činitele celkového harmonického zkreslení THD:

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (u_h)^2} \quad [\%] \quad (3)$$

u_h je velikost dané harmonické vztažené k velikosti základní harmonické složky. Činitel celkového harmonického zkreslení se uvažuje do 40. řádu (násobku) základní harmonické.

Norma udává, že za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot napětí každé harmonické menší nebo rovno hodnotě uvedené v následující tabulce č. 6 a celkový činitel harmonického zkreslení THD musí být menší nebo roven 8 %. Význam harmonických pro řád vyšší než 25 je již zanedbatelný, nicméně pro úplnost - pro liché harmonické řádu vyššího než 25, které nejsou násobkem 3, nesmí překročit 1 %; harmonické řádu vyššího než 21, které jsou násobkem 3, nesmí překročit 0,5 % a sudé harmonické řádu vyššího než 24 nesmí překročit 0,5 % základní harmonické.

Tab. 6: Úrovně jednotlivých harmonických napětí [17]

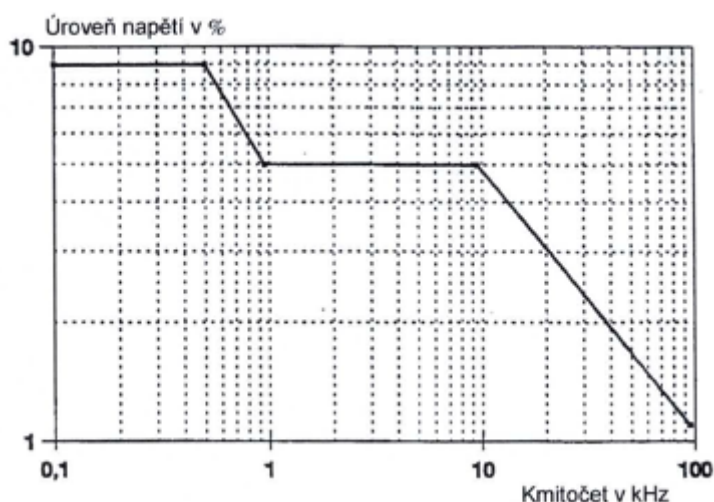
Liché harmonické				Sudé harmonické	
Ne násobky 3		Násobky 3			
Řád harmonické h	Harmonické napětí U_h	Řád harmonické h	Harmonické napětí U_h	Řád harmonické h	Harmonické napětí U_h
5	6,0 %	3	5,0 %	2	2,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6...24	0,5 %
13	3,0 %	21	0,5 %		
17	2,0 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

2.6. Meziharmonická napětí

Meziharmonické, nebo také interharmonické složky napětí jsou sinusová napětí s frekvencí, která není celistvým násobkem základní harmonické složky napájecího napětí. Podílejí se na vzniku flikru či rušení v systémech hromadného dálkového ovládání. Platí, že v libovolném týdenním období musí být 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot meziharmonických napětí menší než 0,2 % základní harmonické, výjimkou jsou interharmonické řádu 0,5 a 1,5, kde jsou limitní hodnoty 0,5 % resp. 0,6 %.

2.7. Úrovně napětí signálů

K přenosu informací, především signálu HDO, se využívá veřejné distribuční sítě, kdy je vysílaný impuls nasuperponován na základní frekvenci sítě, tedy 50 Hz. Dle normy musí být střední hodnota napětí signálu měřeného po dobu 3 s v 99 % dne menší nebo rovna hodnotám na následujícím obrázku, pozn. graf je zobrazen v logaritmickém systému souřadnic.

Obr. 10: Úrovně napětí na kmitočtech signálů v procentech U_n pro síť NN [17]

Jednou z frekvencí, která se využívá v systému HDO, je 216,66 Hz, která odpovídá limitní hodnotě úrovně napětí 9 %.

2.8. Přerušení napájecího napětí

Rozlišuje se krátkodobé přerušení napájecího napětí mající dobu trvání do 1 min, v některých případech se toleruje i doba do 3 min a dlouhodobé přerušení napájecího napětí mající dobu trvání více než 3 min.

2.9. Poklesy, dočasná zvýšení napětí (přepětí)

Pokles napětí v síti představuje náhlé snížení efektivní hodnoty napětí pod jmenovitou hodnotu. K poklesům napětí ve většině případů dochází vlivem poruch v instalacích uživatelů nebo ve veřejné distribuční síti. K dočasnému zvýšení napětí dochází vlivem provozního spínání či odpojování zátěže. K přepětí může také dojít při poruše na vysokonapět'ové straně transformátoru, kdy vzniká poruchový proud způsobující dočasné přepětí na nízkonapět'ové straně.

Oba tyto jevy jsou náhodné a nepředvídatelné, jejich výskyt během roku se značně mění v závislosti na typu sítě a jejich rozložení v rámci jednoho roku je velmi nepravidelné.

Norma udává, že prahová hodnota poklesu napětí je rovna 90 % jmenovitého napětí a prahová hodnota zvýšeného napětí je 110 % jmenovitého napětí. [17]

3. Praktická část

Předmětem praktické části práce je úsek vedení nacházející se v katastrálním území Krásné Loučky v ulici K Ostrůvku, který zajišťuje napájení pro 10 domů. Vedení začíná u trafostanice s označením BR 2142, která je v majetku skupiny ČEZ Distribuce, a.s., a která je napájena primárním vedením VN 22 kV. Z transformátoru o výkonu 100 kVA, 22/0,4 kV pokračuje vedení samostatnými vodiči na hlavní jistič nacházející se v rozváděči s označením J2UX51L 160 A. V rozváděči trafostanice jsou osazeny dvě sady nožových pojistek pro dvě vzdušná vedení (směr Krnov a směr Krásné Loučky) a dvě sady pojistkových spodků sloužící jako rezerva. Obě vzdušná vedení jsou provedena vodičem 1-AES a začínají v rozváděči na pojistkových svorkách a jsou vyvedena na stožár trafostanice v chránící trubce. Vedení dále pokračuje na podpěrných bodech (betonové i dřevěné sloupy s patkou s číselným označením 93 - 103) s odbočkami k daným odběratelům. Úsek hlavního vedení je tvořen kabelem 1-AES o průřezu $4 \times 120 \text{ mm}^2$ a celkové délce 258 m, tento kabel je vyveden rovněž i k 8 odběratelům, avšak s průřezem $4 \times 16 \text{ mm}^2$ a je zakončen v hlavní domovní skříni (HDS), kde je chráněn pojistkami, další 2 odběratelé mají přípojku provedenou kabelem AYKYz o průřezu $4 \times 16 \text{ mm}^2$. Jištění mnou vybraného úseku je v trafostanici zajištěno pomocí nožových pojistek s označením PLN1 125 A, ochranu proti přepětí zajišťují svodiče přepětí Raychem LVA-440B 10 kA, 440 V nainstalované na kabelech 1-AES $4 \times 120 \text{ mm}^2$ na vrcholu trafostanice a na koncovém bodě vedení.



Obr. 11: Stožárová distribuční trafostanice BR 2142

3.1. Měření základních provozních charakteristik

Měření v trafostanici

Typ: RST/14, 3x220/380 V, 50 Hz, 160 A, IP00

Výrobní číslo: 055, rok výroby: 1988

Výrobce: Energetické strojírny k. p. Brno

Měření základních provozních parametrů probíhalo dne 10. 3. 2019 od 14:30 do 16:30 pod vedením kvalifikované osoby (otce), který disponuje potřebnou kvalifikací dle vyhlášky 50/1978 § 9 (revizní technik) a měřicími přístroji.

Použité přístroje:

Sonel MPI-530, výrobní číslo: AH1624, přístroj pro měření izolačních odporů, impedance a zemních odporů přes sondy

Kyoritsu 4200, výrobní číslo: 8058475, přístroj pro měření zemních odporů klešťovou metodou

Sonel CMP-200, výrobní číslo: A40672, klešťový ampérmetr



Obr. 12: Jednotlivé přístroje Sonel MPI-530, Kyoritsu 4200, Sonel CMP-200

Naměřené hodnoty na výstupu z transformátoru:

Tab. 7.1: Hodnoty napětí

U_{L1} (V)	U_{L2} (V)	U_{L3} (V)
236,2	236,6	234,2

Tab. 7.2: Hodnoty proudů

I_{L1} (A)	I_{L2} (A)	I_{L3} (A)
27,5	48,8	26,5

Tab. 7.3: Hodnoty impedančních smyček

$Z_{L1} (\Omega)$	$Z_{L2} (\Omega)$	$Z_{L3} (\Omega)$
0,083	0,089	0,083

Výstup z transformátoru je vyveden kabelem AYKY 3x240 + 120 mm² na přípojnícové svorky hlavního jističe a poté přes měřicí transformátory na pojistkové spodky přes vodič Al 50x5 mm (šíny), k měření se použil přístroj Sonel MPI-530. Naměřené hodnoty jsou v souladu s normami. Měření izolačního stavu kabelu 1-AES 4x120 mm² nebylo provedeno z důvodu nemožnosti vypnutí trafostanice.

Při měření impedančních smyček pomocí přístroje Sonel MPI-530 nebyla překročena povolená hodnota vycházející ze vzorce:

$$Z_s \cdot I_a \leq U_0, \quad (4)$$

kde Z_s je impedance poruchové smyčky v ohmech obsahující zdroj nebo vodič vedení až k místu poruchy, anebo ochranný vodič mezi místem poruchy a zdrojem, I_a je proud v ampérech vyvolávající automatickou funkci přístroje způsobujícího odpojení ve stanovené době a U_0 jmenovité střídavé napětí vedení vůči zemi. Vše vychází z normy ČSN 33 2000-4-41 ed. 3.



Obr. 13: Pohledy do otevřené trafostanice (přední a zadní pohled)

Naměřené hodnoty na vývodu směr Krásné Loučky 03 R-13:

Tab. 8.1: Hodnoty napětí

$U_{L1} (V)$	$U_{L2} (V)$	$U_{L3} (V)$
234,8	236,2	233,3

Tab. 8.2: Hodnoty proudů

I_{L1} (A)	I_{L2} (A)	I_{L3} (A)
19,5	32,5	24,8

Tab. 8.3: Hodnoty impedančních smyček

Z_{L1} (Ω)	Z_{L2} (Ω)	Z_{L3} (Ω)
0,087	0,072	0,071

Bylo provedeno měření celkového odporu uzemnění (pásek FeZn 30x4 mm) trafostanice a vedení pomocí přístroje Kyoritsu 4200 jehož hodnota je $R = 0,08 \Omega$. Dále bylo provedeno měření zemního odporu sondovou metodou pomocí přístroje Sonel MPI-530 a 2 zemních sond o délkách 15 m a 30 m, přičemž měření probíhalo po odpojení zemničů od trafostanice za deštivého počasí, změřené hodnoty: 1,91 Ω a 1,71 Ω , což vyhovuje normě ČSN 33 2000-5-54 ed. 3.

Naměřené hodnoty pro podružný rozváděč R13 nacházející se na podpěrném bodu 98:

Typ: SV200/NSC1V-C, 690 V, 50 Hz, 160 A, 40 kA, IP44

Výrobní číslo: 1262159, rok výroby: 2011

Výrobce: DCK Holoubkov

Dle ČSN EN 60439-1, 60439-4

Maximální přípojný průřez: 150 mm² (Al/Cu)

Jištění: Nožové pojistky OEZ PLN000, 50 A

Přívod: 1-AES 4x120 mm²

Vývod: AYKYz 4x16 mm²



Obr. 14: Pohled do podružného rozváděče R13

Tab. 9.1: Hodnoty napětí

U_{L1} (V)	U_{L2} (V)	U_{L3} (V)
234,3	234,9	233,9

Tab. 9.2: Hodnoty proudů na přívodu

I_{L1} (A)	I_{L2} (A)	I_{L3} (A)
1,3	9,1	1,9

Tab. 9.3: Hodnoty proudů na vývodech:

vývod 01 – č. 87			vývod 02 – č. 88, 89, 90		
I_{L1} (A)	I_{L2} (A)	I_{L3} (A)	I_{L1} (A)	I_{L2} (A)	I_{L3} (A)
0,2	5,6	1,6	1,2	2,8	0,9

Tab. 9.4: Hodnoty impedančních smyček

Z_{L1} (Ω)	Z_{L2} (Ω)	Z_{L3} (Ω)
0,138	0,131	0,168

Velikost zemního odporu u sloupu č. 98 byla 19,4 Ω , tato hodnota již překračuje dovolenou hodnotu, která je dle normy 15 Ω , uzemnění je tvořeno páskem FeZn 30x4 mm.

Naměřené hodnoty pro podružný rozváděč R24 nacházející se na podpěrném bodu 103:

Typ: SV101/NSW1W-C, 690 V, 50 Hz, 250 A, 40 kA, IP44

Výrobní číslo: 1291956, rok výroby: 2011

Výrobce: DCK Holoubkov

Dle ČSN EN 60439-1, 60439-4

Maximální přípojný průřez: 150 mm² (Al/Cu)

Jištění: Nožové pojistky OEZ PLN1, 125 A

Přívod: 1-AES 4x120 mm²

Vývod: AYKY 3x240 + 120 mm² (pozn. použitý kabel je v rozporu s údaji výrobce rozváděče)



Obr. 15: Pohled do podružného rozváděče R24

Tab. 10.1: Hodnoty napětí

U_{L1} (V)	U_{L2} (V)	U_{L3} (V)
235,7	234,5	232,8

Tab. 10.2: Hodnoty proudů

I_{L1} (A)	I_{L2} (A)	I_{L3} (A)
9,3	14,1	18,2

Tab. 10.3: Hodnoty impedančních smyček

Z_{L1} (Ω)	Z_{L2} (Ω)	Z_{L3} (Ω)
0,175	0,155	0,172

Velikost zemního odporu u sloupu č. 103 byla 0,64 Ω , uzemnění je opět tvořeno páskem FeZn 30x4 mm. Velikost odporu změřená sondovou metodou byla 10,9 Ω . Tento sloup, jakožto koncový bod, je chráněn proti přepětí přepětíovou ochranou Raychem LVA-440B 10 kA, 440 V nainstalovanou na vrcholu sloupu. V tomto rozváděči je vzdušné vedení posíleno zemním vedením ve směru na Krásné Loučky.

Naměřené hodnoty v HDS odběratele na adrese K Ostrůvku 17:

Typ: SP182/NVP1P, 690 V, 50 Hz, 63 A, 40 kA, IP44

Výrobní číslo: 1291956, rok výroby: 2011

Výrobce: DCK Holoubkov

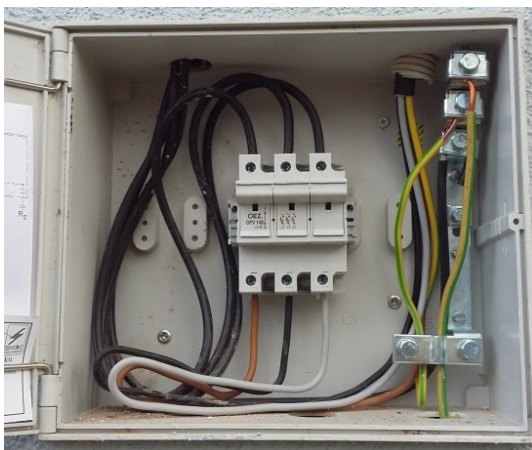
Dle ČSN EN 60439-1, 60439-4

Maximální přípojný průřez: 50 mm² (Al/Cu)

Jištění: Válcové pojistky PV14 40A

Přívod: 1-AES 4x16 mm²

Vývod: CYKY-J 4x10 mm²



Obr. 16: Pohled do otevřené HDS odběratele

Tab. 11.1: Hodnoty napětí

U_{L1} (V)	U_{L2} (V)	U_{L3} (V)
234,1	232,7	235,8

Tab. 11.2: Hodnoty proudů

I_{L1} (A)	I_{L2} (A)	I_{L3} (A)
9,3	14,1	18,2

Tab. 11.3: Hodnoty impedančních smyček

Z_{L1} (Ω)	Z_{L2} (Ω)	Z_{L3} (Ω)
0,196	0,208	0,196

Velikost zemního odporu domu byla 5,5 Ω , měřeno v kontrolní krabici 100x100 mm, uzemnění je provedeno vodičem FeZn 10 mm.

3.2. Vyhodnocení kvality napětí

K vyhodnocení kvality napětí v síti byl použit přístroj ENA 330 (sériové číslo: EVIP080147), který je součástí komplexního systému monitoringu a analýzy kvality elektřiny BK-ELCOM. Měřicí přístroj vyhodnocuje kvalitu napětí v souladu s normou ČSN EN 50160. Analyzátor není vybaven displejem a před samotným měřením je nutné jej naprogramovat přes externí počítač. Samotná analýza naměřených dat je umožněna na základě softwaru BK-Post poskytovaným výrobcem analyzátoru.

Tab. 12: Základní technické parametry analyzátoru ENA 330 [19]

Interval ukládání	$k * 1 \text{ min}, 10 \text{ min}, 15 \text{ min}, 2 \text{ h}$
Doba ukládání	Měsíce i roky
Pracovní teplota	- 25 °C až + 50 °C
Rozměry	66 x 308 x 257 mm
Hmotnost	1,5 kg
Počet napět'ových vstupů	4
Vstupní rozsahy napětí	450 V, 230 V, 110 V, 65 V (RMS)
Šířka pásma	45 Hz až 2,5 kHz
Přesnost	$\pm 0,1 \%$
Zapojení	1-f, 2-f, 3-f, 3-f + N, hvězda, trojúhelník
Počet proudových vstupů	4
Vstupní rozsahy proudů	Dle použitých proudových kleští, např. AMPFLEX (30 A, 300 A, 3 kA)
Vzorkovací frekvence	9 600 Hz, 19 200 Hz, 38 400 Hz
Napájení	180 až 265 V, 47 až 63 Hz
Rozhraní	USB, Ethernet, VGA, EXT. AUX.

Síťový analyzátor byl v trafostanici BR 2142 instalován po dobu 10 dní od 18. 02. 2019 do 28. 02. 2019, přičemž k vyhodnocení naměřených dat je zvolen úsek od 18. 02. 2019 14:39:00 do 25. 02. 2019 14:39:00, tedy doba 7 dní, což je požadavek stanovený normou ČSN EN 50160.

Analyzátor snímá velikost proudů v jednotlivých fázích přes ampflexy tvořené Rogowského cívkami, které obepínají dané přípojnice. Napětí je snímáno přes svorky, kdy jedna je připevněna na danou fázi a druhá do uzlu s uzemněnou přípojnici PEN, viz obr. 17.

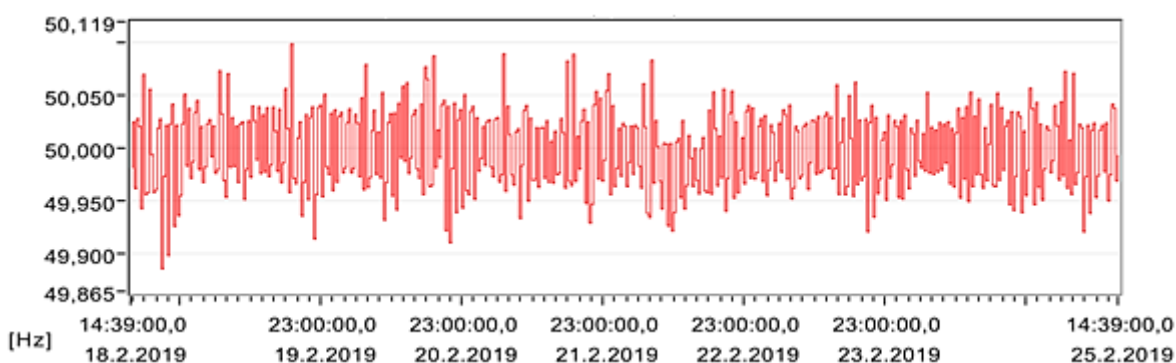


Obr. 17: Zapojení síťového analyzátoru ENA 330 v trafostanici BR 2142

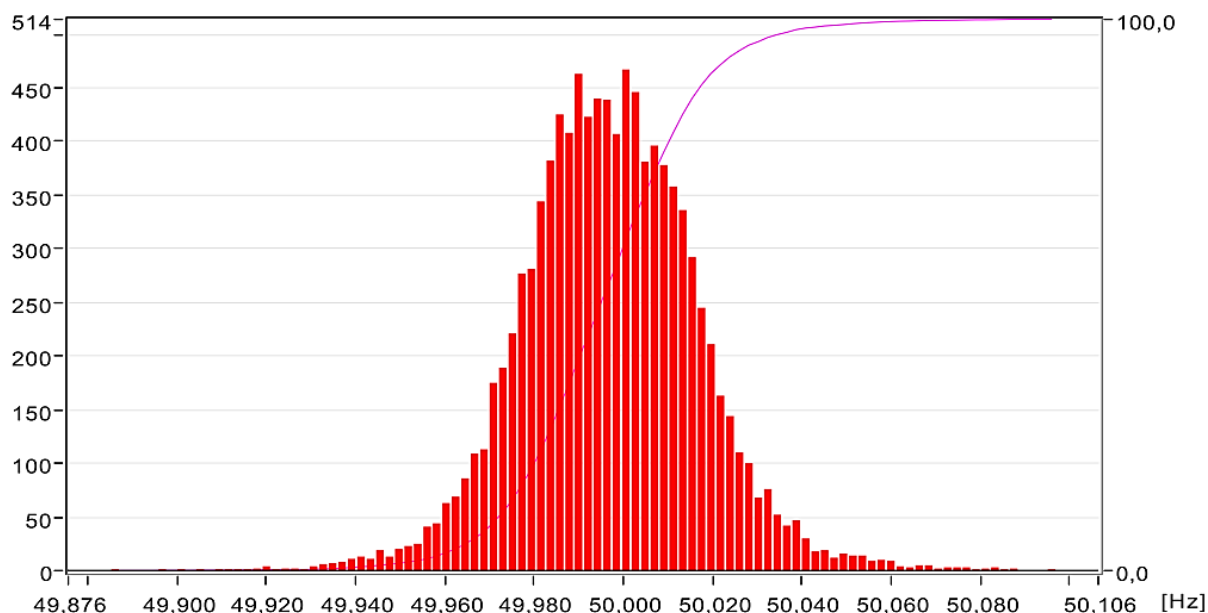
Analýza naměřených dat

Analýza změřených dat probíhala pomocí softwaru BK-Post, který umožňuje zobrazení časových průběhů dané veličiny včetně histogramu, dále porovnání a statistické vyhodnocení naměřených dat. Data byla ukládána se vzorkovací frekvencí 9 600 Hz a s periodou ukládání 1 min pro zobrazení grafických průběhů snímaných veličin a s periodou 10 min pro vyhodnocení celkové kvality napětí dle normy ČSN EN 50160.

Prvním parametrem, který se vyhodnocuje je frekvence první fáze napětí, jejíž kolísání se zobrazeno na obr. 18, na svislé ose jsou zobrazeny hodnoty frekvence, na vodorovné je časový úsek týdenního měření. Nejvyšší dosažená hodnota frekvence byla 50,098 Hz a nejnižší 49,886 Hz, což je zcela v souladu s normou, která uvádí toleranci 50,5 – 49,5 Hz. Rozložení četnosti nejčastějších hodnot ukazuje obr. 19, přičemž statisticky nejčastější hodnota je 50,001 Hz.

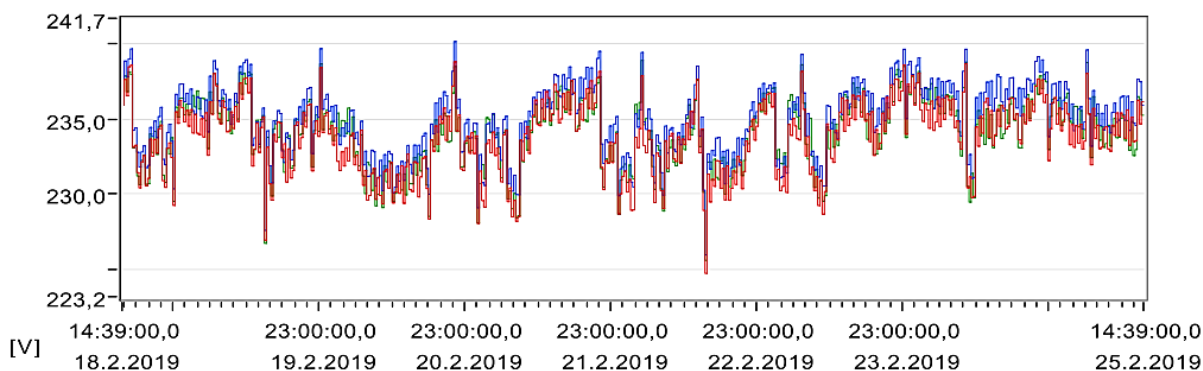


Obr. 18: Průběh frekvence první fáze napětí

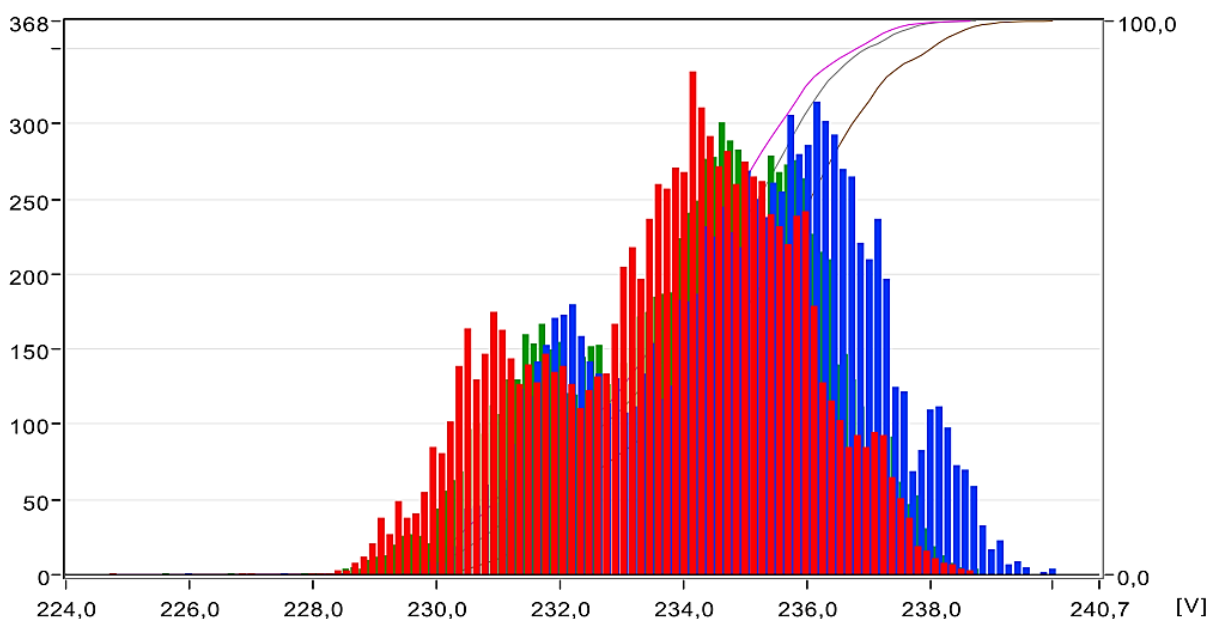


Obr. 19: Histogram frekvence první fáze napětí

Další parametr, který se vyhodnocuje v rámci normy, je velikost napájecího napětí. Kolísání napětí všech tří fází je patrné z obr. 20, nejvyšší hodnota byla změřená ve 2. fázi, a to 240,1 V, naopak nejnižší hodnota byla změřená v 1. fázi, a to 224,8 V, tyto hodnoty vyhovují normě, která udává toleranci 207 – 253 V. Četnost opět ukazuje histogram na obr. 21, kde statisticky nejčastější hodnota první fáze (červené sloupce) je 234,0 V, druhé (modré sloupce) 235,2 V a třetí (zelené sloupce) 234,4 V.

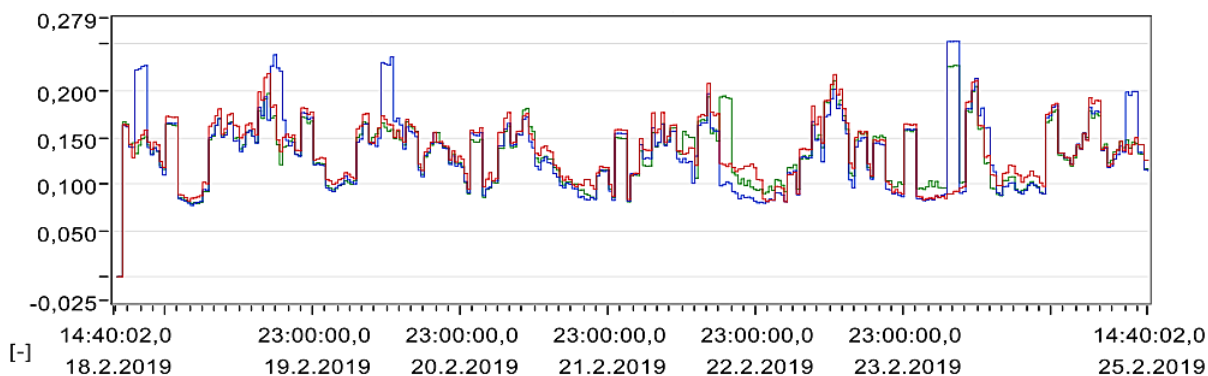


Obr. 20: Průběhy napětí všech tří fází

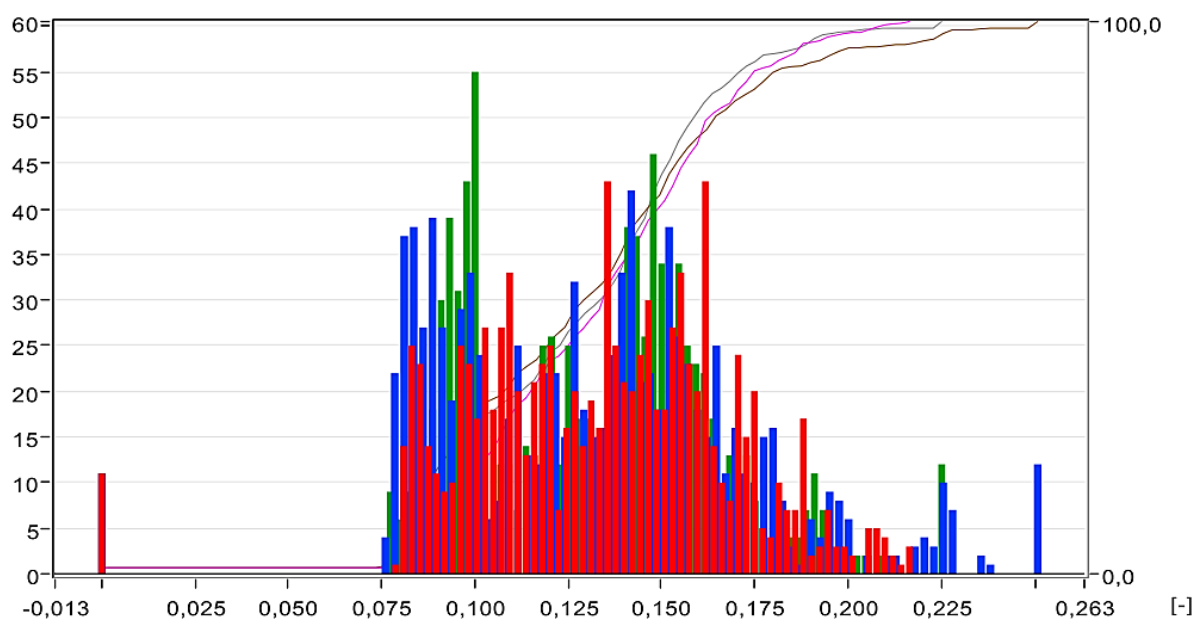


Obr. 21: Histogram všech tří fází napětí

Vliv flikru, který je vyvolán rychlými změnami napájecího napětí, se posuzuje na základě dlouhodobé míry vjemu flikru P_{lt} , vycházející z 12 desetiminutových vzorků krátkodobé míry vjemu flikru P_{st} , přičemž její hodnota musí být menší nebo rovna 1. Z následujícího obrázku je zřejmé, že v žádné fázi není překročena dovolená hodnota, nejvyšší hodnota nastala ve druhé fázi, a to 0,253. Histogram rovněž potvrzuje, že hlavní rozložení hodnot je od 0,075 do 0,225.

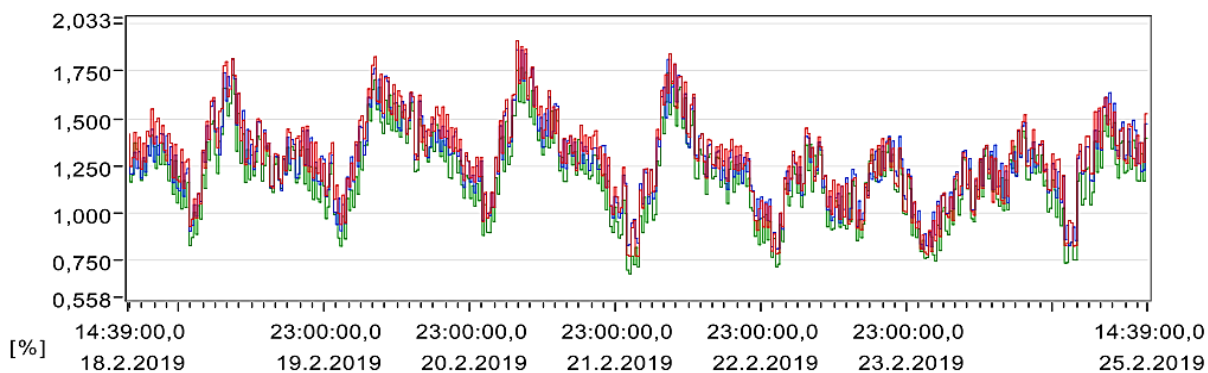


Obr. 22: Průběh dlouhodobé míry flikru

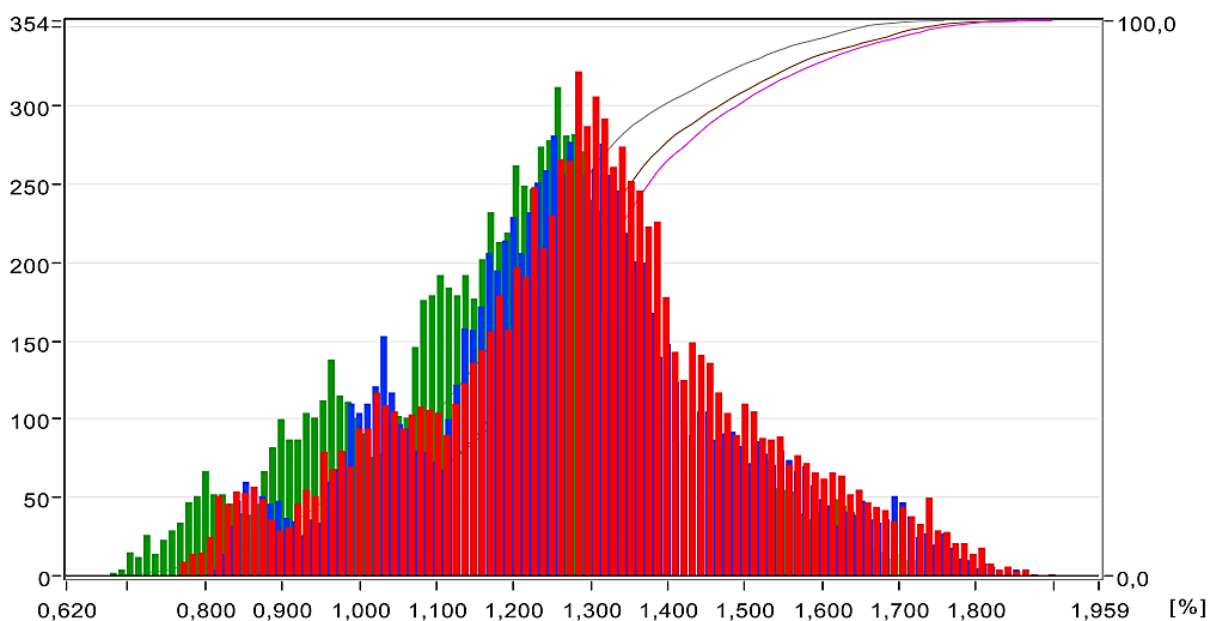


Obr. 23: Histogram dlouhodobé míry flikru

Další parametr, který ovlivňuje kvalitu napětí v síti, je činitel celkového harmonického zkreslení THD, jehož hodnota má být dle normy menší nebo rovna 8 %. Průběh a histogram činitele celkového harmonického zkreslení je na obrázcích 24 a 25. Z obrázků je zřejmé, že nejvyšší hodnoty dosahovaly do 2 %, což je zcela v souladu s normou. Statisticky nejčastější hodnota byla 1,25 %.

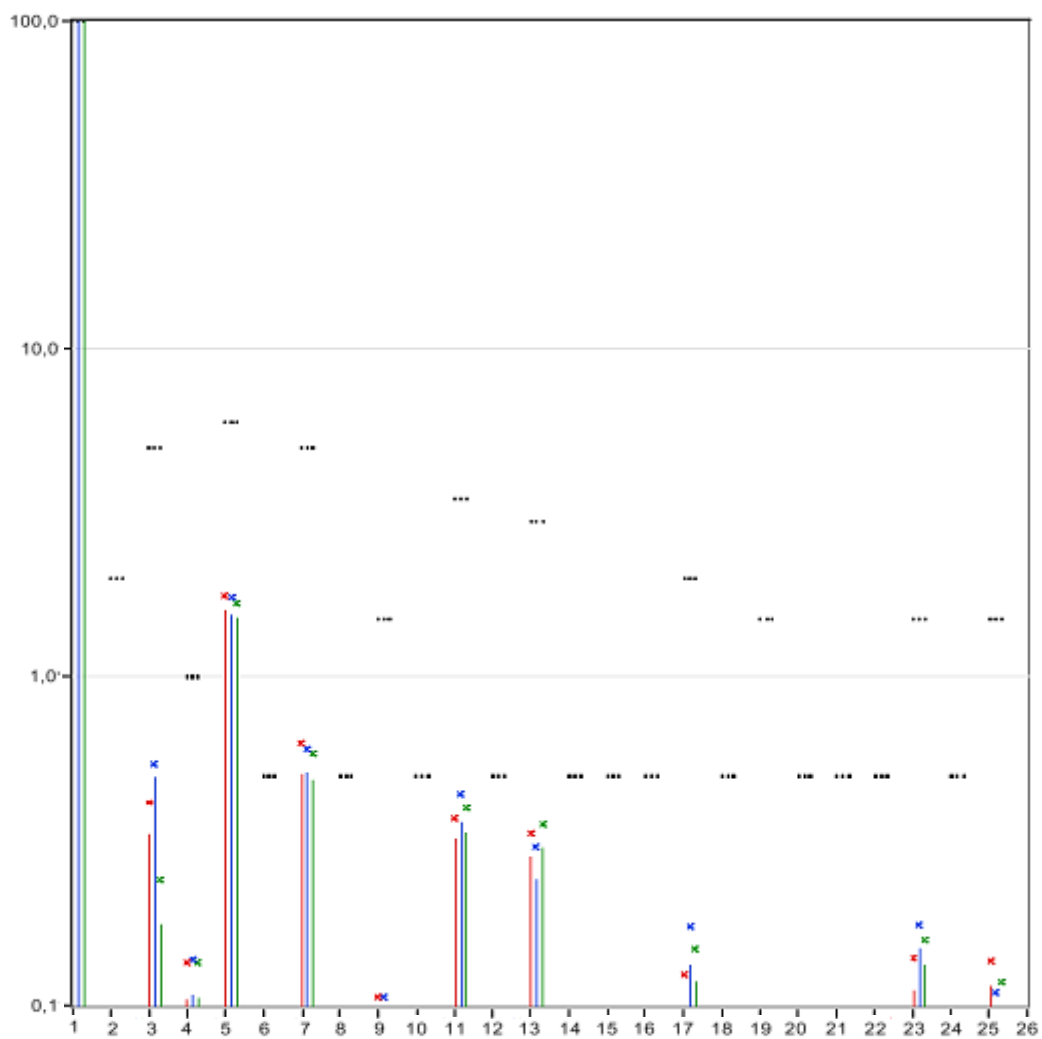


Obr. 24: Průběhy THD



Obr. 25: Histogram THD

S THD souvisí také vyhodnocení jednotlivých harmonických složek, které se vyhodnocují ve frekvenční oblasti formou frekvenčního spektra pomocí rychlé Fourierovy transformace (FFT), což ukazuje následující obrázek 26. Na vodorovné ose jsou jednotlivé harmonické složky napětí až do 25. řádu, přičemž pro každou harmonickou jsou zobrazeny 3 spektrální čáry, které odpovídají jednotlivým fázím, na svislé ose je pak jejich střední efektivní hodnota měřená v intervalu 10 min vztažená ke střední efektivní hodnotě napětí první harmonické, tedy v procentuálním zastoupení. Maximální hodnoty jsou zobrazeny křížky s příslušnou barvou a černé obdélníky značí limitní hodnoty dané normou, které nebyly překročeny v žádné fázi.



Obr. 26: Spektrum jednotlivých harmonických do 25. řádu

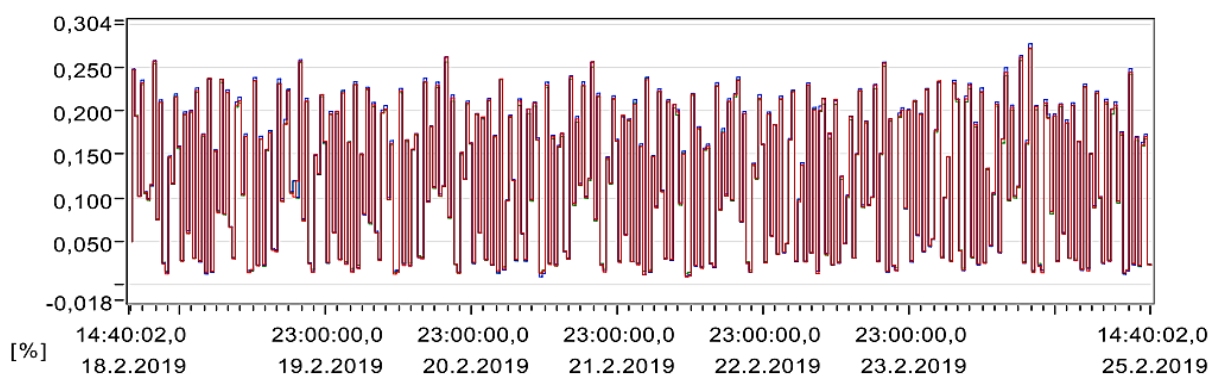
Během týdenního měření nedošlo k žádnému přerušení napájecího napětí ani k výrazným poklesům, či přepětí.

Tab. 13: Celkové zhodnocení kvality napětí

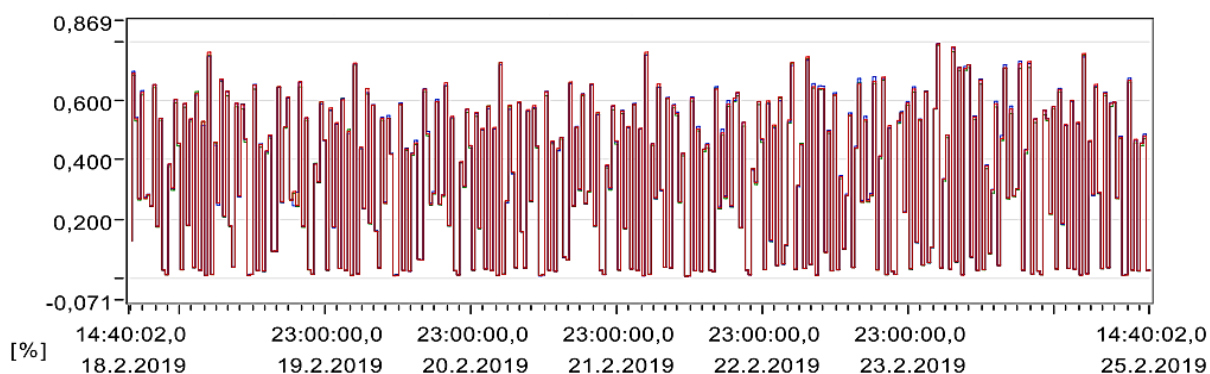
Veličina	Limit	Interval	Min/Max	Min/Max	Min/Max	Mimo	Splňuje
Frekvence (50Hz)			3 ~				Ano
Frekvence 99,5 %	99 % - 101 %	10 s	49,97 / 50,09			0 %	Ano
Frekvence 100 %	94 % - 104 %	10 s	49,97 / 50,1			0 %	Ano
Napětí 230 V			L ₁	L ₂	L ₃		Ano
Napětí 95 %	90 % - 110 %	10 min	228,8 / 236,9	230,4 / 238,1	228,9 / 237	0 %	Ano
Napětí 100 %	85 % - 110 %	10min	228,8 / 238,1	230,4 / 239,2	228,9 / 238,1	0 %	Ano
Flikr			L ₁	L ₂	L ₃		Ano

PLT 95 %	≤ 1	10 min	0,19	0,2	0,19	0 %	Ano
PST 95 %	≤ 10	10 min	0,2	0,22	0,2	0 %	Ano
Nesymetrie napětí			3 ~				Ano
Zpětná 95 %	≤ 2 %	10 min	0,44 %			0 %	Ano
HDO signály			L ₁	L ₂	L ₃		Ano
$f = 216,6$ Hz 99 %	≤ 9 %	3 s	1,76 %	1,75 %	1,76 %	0 %	Ano
THD U							Ano
THD U 95 %	≤ 8 %	10 min	1,68 %	1,66 %	1,58 %	0 %	Ano
Harmonické U 10 min	Tab. 6	10 min	L ₁	L ₂	L ₃	0 %	Ano
Interharmonické U 10 min	Kap. 2.6.	10 min	L ₁	L ₂	L ₃	9 a 79 %	Ne
Celkem							Ne

Jediný parametr, který se vyskytuje mimo dovolenou mez, jsou interharmonická napětí řádu 2,5 (125 Hz), (obr. 27), kde je limit překročen o 0,02 % a řádu 4,5 (225 Hz), (obr. 28), kde je limit překročen o 0,43 %, přičemž dovolená mez pro oba řády je 0,2 %.



Obr. 27: Průběh interharmonické řádu 2,5



Obr. 28: Průběh interharmonické řádu 4,5

Závěr

Cílem bakalářské práce v teoretické části je popsat základní uspořádání a stavbu vedení nízkého napětí včetně analýzy parametrů kvality napětí podle normy ČSN EN 50160. Získané poznatky z teoretické části se poté aplikovaly na úsek vedení nacházející se v katastrálním území Krásné Loučky v ulici K Ostrůvku.

Při měření základních provozních parametrů, o kterých pojednává kapitola 3.1., bylo zjištěno, že velikost zemního odporu změřeného pomocí přístroje Kyoritsu 4200 u sloupu č. 98 je $19,8 \Omega$, což je hodnota, která překračuje povolenou mez 15Ω dle normy ČSN 33 2000-5-54 ed. 3. Řešením v tomto případě je posílení zemnicího pásku 30×4 mm zemnicími tyčemi o délkách 1,5 m, přičemž rozteč mezi tyčemi musí být minimálně na délku tyče, jiné řešení je výpočet. Ostatní změřené hodnoty zemních odporů jsou již v souladu s normou. Při měření napětí pomocí přístroje Sonel MPI-530 nedošlo k žádným výrazným výkyvům, hodnoty napětí se pohybovaly v intervalu od 232,7 V do 236,6 V. Také při měření impedančních smyček pomocí přístroje Sonel MPI-530 nebyla překročena povolená hodnota, která vychází ze vzorce č. 4 uvedeného na stránce 32 dle normy ČSN 33 2000-4-41 ed. 3. Změřené hodnoty impedančních smyček byly v intervalu od $0,071 \Omega$ do $0,208 \Omega$.

Ke zhodnocení kvality napětí v síti, o které pojednává kapitola 3.2., byl použit síťový analyzátor ENA 330, který byl instalován v distribuční trafostanici BR 2142 od 18. 02. 2019 do 28. 02. 2019, přičemž k analýze naměřených dat se využil týdenní úsek od 18. 02. 2019 14:39:00 do 25. 02. 2019 14:39:00. Mezi parametry ovlivňující kvalitu napětí patří frekvence, jejíž průběh je na obr. 18, všechny hodnoty během týdenního měření se pohybovaly v intervalu od 49,886 Hz do 50,098 Hz, tyto hodnoty jsou zcela v souladu s normou, která uvádí toleranci 50,5 – 49,5 Hz. Normě vyhovují rovněž napětí měřená ve všech třech fázích, jejíž průběhy jsou patrné z obr. 20, zde se hodnoty pohybovaly v intervalu od 224,8 V do 240,1 V. K překročení dovolené meze nedošlo ani při měření dlouhodobé míry vjemu flikru P_{lt} (obr. 22), nejvyšší dosažená hodnota byla 0,253 a ani při měření celkového činitele harmonického zkreslení (obr. 24). Vyhodnocení spektra jednotlivých harmonických složek do 25. řádu včetně přípustných mezí ukazuje obr. 26, je zřejmé, že žádná harmonická nepřekročila dovolenou toleranci. Jediný parametr, který nesplňuje požadavky normy, jsou interharmonická napětí řádu 2,5 a 4,5.

Celkově elektrické zařízení nevyhovuje, vzhledem k překročení limitní meze pro interharmonická napětí, avšak všechny ostatní důležité parametry kvality napětí jsou v tolerančních hodnotách.

Výstupy práce budou poskytnuty technikovi zařízení VN a NN skupiny ČEZ, a. s. na rozvodně v Krnově, který má na starosti ŘPÚ (řád preventivní údržby).

Literatura

- [1] TOMAN, Petr. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [2] PROCHÁZKA, Radek. *Druhy elektrického silnoproudého rozvodu* [online]. 9. 4. 2007 [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/teorie-elektrotechnika/4035-druhy-elektrického-silnoproudeho-rozvodu>
- [3] SANTARIUS, Pavel. *Elektrické stanice a vedení*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1990. ISBN 80-7078-032-0.
- [4] MACHÁČEK, Václav. *Elektrické přípojky z vedení distribučních soustav a připojování zákazníků*. Druhé - aktualizované vydání. Pardubice: IN-EL, 2018. ISBN 978-80-87942-35-2.
- [5] HAVELKA, Otto. *Elektrické přístroje*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1985. ISBN 04-529-85
- [6] *Uspořádání uzemnění podle ČSN 33 2000-5-54 ed. 3* [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/elektroinstalace/usporadani-uzemneni-podle-csn-33-2000-5-54-ed-3>
- [7] GROSSMANN, František. *Bezpečnost elektrických zařízení*. 2017.
- [8] PNE 33 3302. *Elektrická venkovní vedení s napětím do 1 kV AC*. 3. vyd. Brno: Energetický ústav, 2013
- [9] GURECKÝ, Jiří. *Jištění vodičů v elektrickém rozvodu* [přednáška]. Ostrava, 29. 10. 2018
- [10] PNE 34 8210. *Dřevěné sloupy a dřevěné sloupy na patkách pro elektrická venkovní vedení do 45 kV*. 2. vyd. Brno: Energetický ústav, 2004
- [11] Vyhláška č. 408/2015 Sb. ze dne 23. prosince 2015 o Pravidlech trhu s elektřinou. [online]. [cit. 2018-11-29]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-408>
- [12] ELRON, firma. 1-AYKYz 4x16 RE. In: [Http://www.elron.cz/](http://www.elron.cz/) [online]. Kladno [cit. 2018-11-29]. Dostupné z: <http://www.elron.cz/cz/eshop/product-1-aykyz-4x16-re-412>
- [13] NKT, firma. Samonosné kabely 1-AEKS. In: [Https://www.nkt.cz/](https://www.nkt.cz/) [online]. Kladno [cit. 2018-11-29]. Dostupné z: https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwiwjCtrZ_fAhWCsXEKHVJTBFYQFjAAegQICRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.nkt.com%2Ffileadmin%2Fuser_upload%2FProducts%2FData_sheets%2F1-AEKS%2BDS%2BCZ%2BEN.pdf&usg=AOvVaw2BwFCF-vxfxoyaBU9vfXRn
- [14] ELPLAST, firma. Pojistková vložka E27 DII gL-gG 500V 16A T. In: [Http://www.elplasthk.cz/](http://www.elplasthk.cz/) [online]. Hradec Králové [cit. 2018-11-29]. Dostupné z:

<http://www.elplasthk.cz/cz/produkty/elektroinstalacni-material/zavitove-pojistky/detail/pojistkova-vlozka-e27-dii-gl-gg-500v-16a-t-11592.html>

[15] ELRON ELEKTRO, firma. Poistka PV14 2A aM valcová 6715. In: <https://www.elron.sk/> [online]. Bratislava [cit. 2018-12-14]. Dostupné z: https://www.elron.sk/obchod_homedir/data/1145/obrazky/VARIUS_PV14.jpg

[16] EMAS, firma. OEZ 40436 Pojistková vložka PNA1 80A gG. In: <https://www.emas.cz/> [online]. Mladá Boleslav [cit. 2018-11-29]. Dostupné z: <https://www.emas.cz/var/images/800x600/52/21452-elpono0002840.jpg>

[17] ČSN EN 50160. *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí*. Ed. 3. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

[18] KREJČÍ, Petr. *Kvalita napětí* [přednáška]. Ostrava, [online]. [cit. 2018-12-14]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/FEI/EMC/sylaby/11_Kvalita_napeti.pdf

[19] *Sdružený analyzátor sítí BK-ELCOM v provedení ENA330* [online]. Ostrava-Pustkovec: ELCOM [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://www.elcom.cz/cz/ke-stazeni/merici-systemy/testandmeasurement-cz/system-monitoringu-a-analyzy-kvality-elektriny-bk-elcom-katalogove-listy/ena330-kompaktni-prenosny-pristroj/stahnout>